

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Ústav geologie a paleontologie



**Environmetální dynamika svrchního pleistocénu
ve střední Evropě: multidisciplinární výzkum
spraší, paleopůd a jezerních sedimentů**

**Upper Pleistocene environmental dynamics in central
Europe: multidisciplinary research of loess/paleosols
sequences and lacustrine sediments**

Disertační práce

Mgr. Jan Hošek

Vedoucí práce: Mgr. Lenka Lisá, PhD.

Konzultant: Prof. RNDr. Ivan Horáček, CSc.

Praha 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 4. května 2017

Poděkování

S největší radostí bych zde chtěl poděkovat všem, co mi během dlouhých studentských let pomáhali, a bez nichž bych tuto disertaci zaručeně nemohl odevzdat. V první řadě děkuji dr. Lence Lisé (GLÚ AV), která mě po celou dobu podporovala, inspirovala, dodávala sílu v horších dobách a vůbec mi byla víc než školitelkou. Prof. Ivanu Horáčkovi (Katedra zoologie PřF UK) jsem nesmírně vděčný za to, že mi soustavně a trpělivě objasňoval složité souvislosti kvartérních procesů a pomáhal s interpretací dílčích poznatků. V podobném smyslu děkuji doc. Petrovi Pokornému (CTS UK), který mě navíc ukázal, jak dobrodružné může být noření se do minulých dob (teoreticky i prakticky, u stolu i v blátě). Díky dr. Pavlovi Havlíčkovi z České geologické služby jsem se naučil lépe porozumět kvartérně-geologickým pochodům a mohl na vlastní oči vidět řadu pozapomenutých sprašových profilů. Z mnohých dalších, kteří mě průběžně inspirovali a obohacovali bych jmenoval alespoň Jindru Pracha, Petra Šídu, Honzu Nováka, Libora Petra, Vojtu Abrahama, Petra Kuřeše, Tomáše M. Grygara, Lucku Juříčkovou, Jiřího Sádla. Děkuji také všem ostatním členům Rudolphovy Laboratoře pro paleoekologii za vytvoření podnětného a pohodového prostředí. V terénu mi průběžně pomáhal nespočet laskavých dobrovolníků, z nichž je třeba jmenovat především tyto: Adélka Pokorná, Bára Koutská, Robert Pajas, Martin Prach, Pěťa Houfková, Vlado Kubovčík, Filip Rojčík, Ota Rauch, Katarína Trnková, Michal Hošek, Phillip Baumgart. Z těchto bych rád vyjádřil speciální dík Vladovi Kubovčíkovi, který nás tehdy na Šalounech vlastním tělem ochránil před početnou skupinou rozhněvaných svatebčanů.

Děkuji dr. Ulrichu Hambachovi a celé Paleomagnetické laboratoři University Bayreuth, že jsem mohl na tomto pracovišti strávit čtyři náramné měsíce. Stáž byla finančně podpořena německou vládní organizací DAAD. České geologické službě – mému zaměstnavateli jsem mimo jiné velmi vděčný za dostatek prostoru, který jsem dostal k práci na této disertaci. Martinu Chadimovi (AGICO Brno) a Petrovi Schnablovi (Laboratoř paleomagnetismu GLÚ AV) moc děkuji za zpřístupnění laboratorního vybavení, Petru Wormovi (ÚACH AV) za pomoc při geochemických analýzách. Velké dík patří pochopitelně četnému kolektivu spoluautorů jednotlivých publikací.

Děkuji moc svým rodičům, sestře Kristýně a bratru Kubovi, že mě všemožnými způsoby během studia podporovali a povzbuzovali.

Zvláštní poděkování si pak zaslouží má milovaná Kristýna a to zejména za trpělivost, s jakou mé disertační snažení snášela a za to, že díky ní má ledacos mnohem větší smysl.

Tato práce mohla být předložena díky štedrosti Grantové agentury UK (projekt č. 1472214), Grantové agentury ČR (projekt č. 13-08169S) a díky finanční podpoře ČGS (interní úkol č. 321580).

Abstrakt

Cílem této práce bylo poskytnout relevantní informace o časové a prostorové dynamice erozně-sedimentačních a zvětrávacích procesů posledního klimatického cyklu a získané poznatky interpretovat v kontextu s paleoenvironmentálním vývojem Evropy. Pomocí široké škály nástrojů instrumentální a paleontologické analýzy byly detailně zpracovány reprezentativní sekvence spraší, paleopůd a jezerních sedimentů z oblasti Českého masívu, karpatské předhlubně a severních okrajů Panonské pánve. Jednotný instrumentálně analytický přístup aplikovaný na tyto facie poskytl řadu nových informací o paleoklimatickém a paleoenvironmentálním vývoji východní části střední Evropy – oblasti situované do tranzitní zóny mezi oceanickým a kontinentálním klimatickým režimem. Jednotlivé výzkumy stratigraficky pokrývají celý úsek svrchního pleistocénu (MIS 5–2; ~130–12,7 ka BP) a jsou prezentovány jako samostatné kapitoly v superpozičním pořadí.

V kapitolách III/1–3 jsou představeny výsledky výzkumu šesti sprašových sérií situovaných v centrální části Českého masívu, v transektu moravskými úvaly a na severozápadním, resp. severním okraji Panonské pánve. Detailní paleoenvironmentální analýza, opírající se především o výsledky metod environmentálního magnetismu, geochemie a půdní mikromorfologie prokázala zřetelné rozdíly v intenzitě pedogenetických a zvětrávacích procesů v důsledku rozdílné geografické pozice jednotlivých lokalit: západněji a severněji situované lokality byly pod vliv oceánických podmínek atlantické oblasti, resp. vlhčího a chladnějšího klimatu proluviální zóny Skandinávského ledovce, zatímco na půdní vývoj lokalit ležících na jihovýchodě zkoumaného území měly zásadní vliv aridní podmínky Panonské pánve. V samotné Panonské pánvi pak lze sledovat odlišný klimatický vývoj v severo-j jižním směru (vlhčí perikarpatské oblasti vs. aridní klima centrální části). Výsledky získané výzkumem sprašových sérií tak ukazují nezanedbatelný efekt faciality paleoenvironmentálních procesů v rámci glaciálních fází nejmladšího kvartéru střední Evropy a naznačují, že geografická proměnlivost těchto procesů je tématem, které zasluhuje zvýšené pozornosti.

Kapitoly III/4–5 se zabývají úsekem pozdního glaciálu a přechodového období pleistocén-holocén. Multidisciplinární výzkum tří paleojezer a dvou fosilních půd objevených v Třeboňské pánvi poskytl v rámci východní části střední Evropy doposud nepodrobnější informace o paleoenvironmentálním vývoji pozdního glaciálu. Z výsledku je mj. patrné, že zkoumaná oblast byla v tomto období pod výrazným vlivem pozdně glaciálních hydroklimatických změn odehrávajících se v severním Atlantiku.

V práci je rovněž prezentována řada nových poznatků o aplikovatelnosti a interpretačních možnostech magneto-mineralogických a geochemických metod v instrumentální analýze sedimentárního a půdního záznamu.

Abstract

The principal goal of this thesis was to provide relevant information on the spatiotemporal dynamics of erosion-sedimentation and weathering processes in the last climatic cycle and to interpret the obtained data in the context of European paleoenvironmental development. Representative sequences of loess, paleosols and lacustrine sediments from the area of the Bohemian Massif, the Carpathian Foredeep, the Vienna Basin and the northern edge of the Pannonian Basin were investigated using a wide range of instrumental tools and paleontological methods. A uniform analytical approach applied to these sedimentary facies has provided ample new information about the paleoclimatological and paleoenvironmental development of East-Central Europe – an important region in the transition zone from oceanic to continental macro-climatic settings. The individual studies included in this PhD thesis cover the complete period of the Upper Pleistocene (MIS 5–2; ~130–12.7 ky BP) and are presented as separate chapters in the order of the superposition of strata.

Chapters III/1–3 deal with the results of research into six loess/paleosol sequences (LPSs) situated in the Central Bohemian Massif, throughout the Moravian Valleys, and at the northwest and north edge of the Pannonian Basin. A detailed paleoenvironmental analysis, based mainly on results of studying environmental magnetism, geochemistry and soil micromorphology, has revealed significant differences in the intensity of pedogenetic and chemical weathering processes. These differences are caused mostly by the different geographic locations of the investigated sites: Westerly and northerly situated localities were influenced by the oceanic macro-climate of the Atlantic region and by the wetter and cooler climate of the pluvial zone of the Scandinavian ice-sheet, respectively. By contrast, the pedogenetic development of sites in the southeast part of the investigated region was mostly influenced by arid climatic conditions of the Pannonian Basin. Differences in climatic development can also be observed within the Pannonian Basin itself (the wetter peri-Carpathian region vs the arid climatic condition of the central part). The results of research into LPSs show a considerable effect of divergence in paleoenvironmental processes during the glacial period of the Late Pleistocene and suggest that the geographical variability of these processes is a topic of urgent importance.

Chapters III/4–5 deal with the Late Glacial period and the Last Glacial–Interglacial transition (~16–8 ky BP). Multidisciplinary research of three paleolakes and two fossil soils discovered in the Třeboň Basin offered so far the most detailed information about the Late Glacial paleoenvironmental development in the eastern part of Central Europe. Among other facts, the results clearly show that during this period the research area was significantly influenced by hydro-climatic changes of the Northern Atlantic.

This thesis has also brought many new findings about the applicability and interpretation possibilities of magneto-mineralogical and geochemical methods in instrumental analyses of sedimentary and soil records.

OBSAH

I. ÚVOD	1
1. Stručná charakteristika problémového kontextu a cíle práce	3
2. Struktura práce	4
3. Dynamika sedimentačních a pedogenetických procesů posledního klimatického cyklu v kontextu environmentálního vývoje (střední Evropy)	4
3.1. Obecné rysy vývoje klimatu posledního cyklu a možnosti paleoklimatických rekonstrukcí	6
3.2. Spraše jako zdroj paleoklimatické informace	10
3.2.1. Poslední klimatický cyklus v suché sprašové oblasti střední Evropy	16
3.3. Pozdní glaciál	16
3.3.1. Chronostratigrafie a paleoklimatická charakteristika pozdního glaciálu	16
3.3.2. Pedogenetické procesy pozdního glaciálu	20
II. MATERIÁL A METODY	31
2. Metody	32
2.1. Terénní metody	34
2.2. Laboratorní metody	34
2.2.1 Metody environmentálního magnetismu	34
2.2.2 Geochemické analýzy	36
2.2.3. Laserová granulometrie	38
2.2.4 Mikromorfologická analýza	38
2.2.5 Datování	39
2.2.6 Biologické metody	39
III. VÝSLEDKY A DISKUSE	42
1. Eem a časný glaciál	43
2. Časný a střední pleniglaciál	45
3. Svrchní pleniglaciál	47
4. Svrchní pleniglaciál/pozdní glaciál	49
5. Pozdní glaciál/časný holocén	51
IV. ZÁVĚREČNÁ SHRNUÍ	53

I. ÚVOD

1. Stručná charakteristika problémového kontextu a cíle práce

Jedním z možných způsobů, jak přispět k poznání dynamiky přírodního prostředí kvartéru je studium půdně-vegetačního vývoje a erozně-sedimentačních procesů. Mezi těmito jevovými soustavami a klimatem existují srozumitelné relace, od nichž se odvíjí mnohé z tradičních technik paleoklimatické a paleoenvironmentální interpretace: klimaticky příznivější období jsou většinou doprovázena rozvojem dřevinné vegetace a zvýšenou intenzitou pedogeneze, zatímco chladná období charakterizuje spíše řídký porost, omezená tvorba půd a akcelerace erozně-sedimentačních procesů (Engstrom a Wright, 1984). Rozpouštění, erozi a transportu na jednom místě pak odpovídá obohacení, sedimentace a s ní související změny na jiném místě.

Strategickým cílem předkládané disertační práce je poskytnout relevantní informace o časové a prostorové variabilitě této klimatem řízené dynamické nerovnováhy a získané poznatky interpretovat v kontextu s klimatickým vývojem Evropy. Substrátem pro výzkum byly jezerní sedimenty, paleopůdy a spraše – ideální facie pro studium výše popsaných environmentálních procesů.

Práce je stratigraficky omezena na úsek posledního klimatického cyklu. Toto období je v terestrickém sedimentárním záznamu zastoupeno zdaleka nejhojněji a existuje pro něj velké množství kontextuálních informací, na základě kterých bylo vypracováno obecné schéma environmentální dynamiky kvartéru. Díky plošnému rozsahu uloženin nejmladšího cyklu lze navíc porovnávat environmentální vývoj v jednotlivých regionech a interpretovat odlišnosti ve vztahu k makroklimatickým parametrům.

Geografická heterogenita environmentálního vývoje je v evropském kontextu podmíněna především pozicí jednotlivých regionů na klimatickém transektu od západních a severních oceánických oblastí směrem na východ a jihovýchod, kde se výrazněji uplatňuje vliv kontinentálního klimatického režimu. Zvláště patrný je tento gradient na palynologickém záznamu organických sedimentů, dostupných zejména pro období pozdního glaciálu a postglaciálu (Davis et al., 2003). Obdobnou regionální divergenci však lze sledovat i v glaciálním úseku posledního cyklu, který je v evropském sedimentárním záznamu reprezentován především sprašovými sériemi – spraše a paleopůdy posledního cyklu vykazují v jednotlivých regionech zřetelnou faciální variabilitu (Bronger a Heinkele 1989), zjevně v souvislosti s odlišnou intenzitou zvětrávacích a půdních procesů.

Výrazný pokrok v možnostech instrumentální analýzy sedimentárního záznamu, k němuž v poslední době došlo, umožnil zkoumat klimaticky podmíněnou facialitu environmentálních procesů ve velkém detailu a jednotlivá zjištění korelovat na regionální až globální úrovni.

Systematický výzkum regionální variability environmentálního vývoje, kombinující nové metodologické postupy s těmi tradičními je jedním z nejžhavějších úkolů současné paleoekologie a paleoklimatologie. V Evropě byly v tomto smyslu zevrubně zpracovány

především četné jezerní sekvence severních a severozápadních oblastí, resp. rozsáhlé sprašové série nacházející se ve východních a jihovýchodní regionech kontinentu. Oblast Českého masivu a severozápadních okrajů Panonské pánve stála v této fázi výzkumu doposud poněkud stranou, v důsledku čehož jsou srovnatelně podrobné informace dostupné jen ve velmi omezené míře. Přitom právě toto území, situované do tranzitní zóny mezi oceanickým a kontinentálním klimatickým režimem, je pro pochopení specifík makroklimatického vývoje posledního kvartérního cyklu naprosto zásadní.

Nastíněný stav vytvářel motivační rámec předkládané práce: jejím cílem bylo získat a odpovídajícím způsobem zhodnotit systematická analytická data z reprezentativních středoevropských sedimentárních sekvencí posledního klimatického cyklu a výsledky využít k paleoenvironmentální rekonstrukci. Srovnávací analýza nashromážděného datového aparátu byla soustředěna na testování hypotéz odpovídajících na následující dílčí otázky ze tří tematických okruhů:

(A) Obecné schéma environmentálního vývoje svrchního pleistocénu:

Jak se v průběhu posledního klimatického cyklu (cca 130-12,7 ka BP) měnila na zkoumaném území intenzita pedogenetických a erozních procesů? Jak moc byly tyto procesy ovlivněny klimatickými změnami globálního charakteru? Probíhala přestavba biotické složky ekosystému souběžně s těmito procesy? Do jaké míry je dynamika erozně-sedimentačních procesů ovlivněna hustotou vegetačního pokryvu? Jakou roli hrají lokální hydrologické a geomorfologické faktory?

(B) Geografická proměnlivost environmentálního vývoje v Evropě:

Liší se na zkoumaných lokalitách výrazně environmentální záznam příslušných období od situace v oceanické a kontinentální části Evropy? Jak se případné odlišnosti projeví na geochemickém, magneto-mineralogickém a sedimentologickém záznamu ze sprašových sérií v z-v a sz-jv transektu? Jak moc se na biotických a abiotických proxy jezerních sedimentů Českého masivu projeví krátkodobé pozdně glaciální klimatické výkyvy identifikované primárně v severním Atlantiku? Lze na zkoumaném území zachytit zvolenými metodologickými postupy transitní zónu mezi vlhkým oceanickým a suchým kontinentálním klimatickým režimem? Jakými makroklimatickými parametry je geografická proměnlivost environmentálního vývoje ovlivněna?

(C) Výpovědní hodnota použitých metod:

Poskytují zvolené metodické postupy dostatečně robustní nástroje paleoenvironmentální analýzy sedimentárního záznamu? Jaké jsou výhody, nevýhody a limity jednotlivých metod ve zkoumaných faciích?

2. Struktura práce

Práce je členěna na 4 hlavní kapitoly. V úvodu (I/3) jsou na obecnější rovině popsány hlavní znaky environmentálního vývoje střední Evropy v průběhu svrchního pleistocénu. Hlavní pozornost je soustředěna na jezerní sedimenty, spraše a fosilní půdy a výpovědní hodnotu těchto facií v paleogeografických a paleoenvironmentálních rekonstrukcích. Obecná problematika je dávana do kontextu s výsledky vlastního výzkumu. V kapitole II jsou stručně představeny pilířové lokality výzkumu a nastíněn interpretační sylogismus použitých metod. Hlavní část předkládané práce tvoří soubor vlastních vědeckých publikací (kapitola III). Jednotlivé články jsou řazeny superpozičně.

V kapitole **III/1 (Hošek et al., 2015)** je pomocí magneto-mineralogických, geochemických a pedologických metod porovnáván environmentální záznam dvou svrchně pleistocenních sprašových sérií situovaných v centrální části Českého masívu, resp. na sz. okraji Panonské pánve. Zvláštní pozornost je věnována výsledkům z úseku předposledního interglaciálu a časného glaciálu a jejich kontextu s evropským a globálním paleoenvironmentálním vývojem. Diskutovány jsou zde také některé metodologické aspekty výzkumu spraší (výpovědní hodnota magneto-mineralogické a geochemické analýzy pro environmentální rekonstrukce).

Kapitola **III/2 (Hošek et al., submitted)** se zabývá sedimentárním, paleopůdním a makologickým záznamem časného a středního pleniglaciálu na sprašové lokalitě z jz. Slovenska. Pozornost je soustředěna především na pedogenetické procesy interstadiálu MIS 3 a paleogeografickou interpretaci získaných poznatků.

Úseku svrchního pleniglaciálu je věnována kapitola **III/3 (Lisá et al., 2014)**, kde jsou zkoumány 3 sprašové lokality situované v moravských úvalech. Diskutovány jsou odlišnosti ve sprašovém a pedogenetickém záznamu v S-J transektu a geoarcheologické souvislosti jednotlivých zjištění.

Environmentálními změnami z přechodového období svrchního pleniglaciálu a pozdního glaciálu se věnuje kapitola **III/4 (Hošek et al., 2017)**. Na základě výsledků multidisciplinárního výzkumu tří zazemněných jezer a dvou paleopůdních horizontů objevených v jižních Čechách byla provedena detailní rekonstrukce erozně-sedimentačních a pedogenetických procesů v oblasti a výsledky konfrontovány s evropským záznamem příslušných období.

Informace o paleoklimatických procesech z konce pleistocénu a počátku holocénu přináší kapitola **III/5 (Hošek et al., 2014)**. Biotická a abiotická proxy data získaná ze sedimentu třeboňského paleojezera Švarcenberk jsou zde interpretována ve smyslu detailní paleoenvironmentální analýzy a jednotlivá zjištění konfrontována s paleolimnickým záznamem východní a severozápadní Evropy.

3. Dynamika sedimentačních a pedogenetických procesů posledního klimatického cyklu v kontextu environmentálního vývoje (střední) Evropy

3.1. Obecné rysy vývoje klimatu posledního cyklu a možnosti paleoklimatických rekonstrukcí

Hlavním objektem této práce je úsek posledního klimatického cyklu (cca 130-12,7 ka BP¹), tj. předposlední interglaciál (Eem, Riss/Würm) a poslední glaciál (Viselský glaciál, Würm), vymezený v marinním izotopickém záznamu stupni MIS 5-2. Období posledního glaciálu je tradičně děleno na časný glaciál (eoglaciál, ~ 100-70 ka BP, MIS 5d-5a), pleniglaciál (~ 70-15 ka BP, MIS 4-2) a pozdní glaciál (~ 15-12,7 ka BP). Pleniglaciál lze dále členit na časný (70-60, MIS 4), střední (60-30, MIS 3) a pozdní (MIS 2, 30-15 ka BP) (Lisiecki and Raymo, 2005).

Ačkoliv se poslední glaciál délkou trvání neliší od předchozích cyklů středního pleistocénu (tj. ~ 100 ka), jeho klimatický průběh, a s ním související vývoj krajinné dynamiky, byl v mnohých ohledech značně specifický.

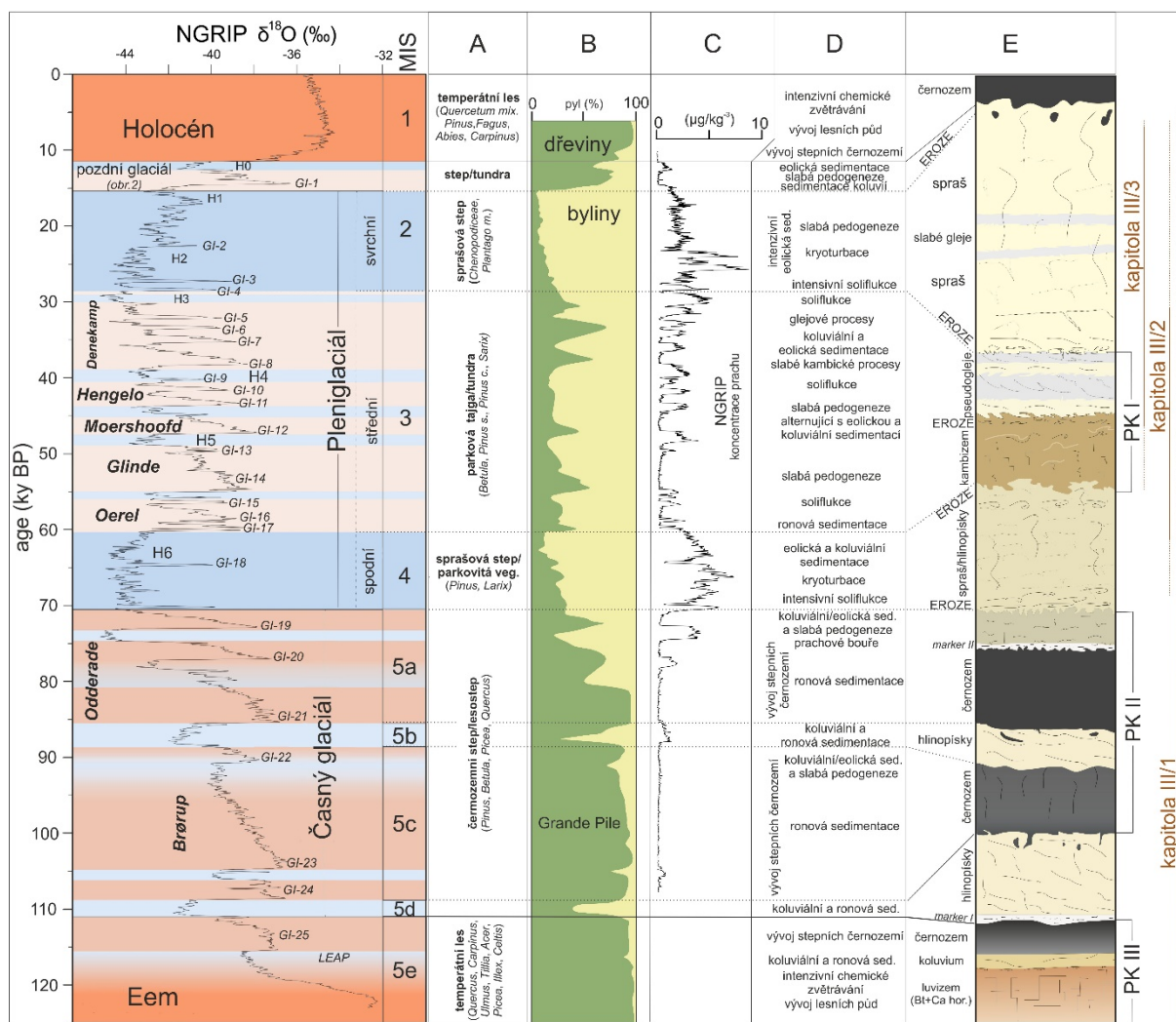
Příčinu je třeba hledat v modulaci glaciálního režimu oceánického termohalinního výměníku (THC) – základního motoru globálního chodu klimatu. Tento systém hlubinných a povrchových proudů vyrovnává rozdíly v salinitě a teplotě moří v různých částech planety a redistribuuje tyto komodity do světového oceánu. Výkonnost THC závisí na řadě faktorů, při jejichž porušení se oceanická cirkulace může i zastavit. Důsledkem je pak prudké ochlazení polárních oblastí a masivní přehřívání (a aridizace) v tropech. Zastavení THC bývá patrně bezprostřední příčinou glaciálního klimatického vývoje. Přítomnost kontinentálního ledovce v polárních oblastech v předchozích glaciálech měla zásadní vliv na normální chod THC a pravděpodobně zapříčinila v některých fázích jeho úplné zastavení (Clement a Peterson, 2008)

Charakteristickým znakem posledního glaciálu bylo rozložení kontinentálních ledovců v polárních a subpolárních oblastech – největší objem ledu byl soustředěn v oblasti Atlantiku, zatímco severní Sibiř, Beringie a Aljaška byly nezaledněnou zónou. V průběhu posledního glaciálu docházelo opakovaně k odlamování mohutných ker Laurentické ledovce z východního pobřeží severoamerického kontinentu a jejich následnému přesunu do subtropického Atlantiku. Zde způsobil masivní přísun sladké vody rozsáhlou přestavbu oceánické cirkulace a částečné obnovení normálního chodu THC (Andrews, 1998; Hemming, 2004). Tyto tzv. Heinrichovy eventy² (HE) se během posledního glaciálu opakovaly minimálně sedmkrát (viz obr. 1). Díky opakovanému průniku teplých vod Golfského proudu k sz. okraji Evropského kontinentu (Sachs a Anderson, 2005) byl celý úsek posledního glaciálu obdobím klimaticky poměrně stabilním a příznivým, kdy klimatický vývoj nedospěl (s výjimkou posledního glaciálního maxima) k extrémnímu stavu (Elias et al, 2007).

¹ BP= před současností (before present), za současnost je považován rok 1950; ka (kiloyear)= tisíc let

² Označení pro polohy hrubozrnných klastik v hlubokomořských sedimentech, které byly do těchto oblastí transportovány na krátkých odlomcích z kontinentálního ledovce (Heinrich, 1988).

Důsledkem dlouhodobě stabilních klimatických podmínek jsou mj. extrémně specializovaná společenstva glaciální bioty (mamutová step a její fauna) a stabilní trendy fenotypových přestaveb jejich vůdčích prvků (např. Horáček a Sánchez, 1984). Unikátní paleoenvironmentální charakteristikou posledního cyklu, která v předchozích cyklech pravděpodobně nemá analogie, je také přítomnost humózních půd alternujících ve sprašových sériích s eolickou glaciální sedimentací (obr. 1).



Obr. 1: Korelace kyslíkového izotopického záznamu z grónského ledovce (NGRIP Members, 2004) s půdně-vegetačním a erozně-sedimentačním vývojem střední Evropy pro období posledních 125 ka – dominantní biomy středoevropských nížin a pahorkatin (podle Ložek, 1973 a Freuden et al., 2014); B – poměr pylových zrn dřevin a bylin ze sedimentů jezera La Grande Pile (Vogézy, SV Francie; podle Woillard a Mook, 1982). C – dynamika eolické sedimentace v severoatlantické oblasti na základě variací prachových částic v grónském ledovci (podle Ruth et al., 2007); D – převažující pedogenetické a erozně-sedimentační procesy středoevropských nížin a pahorkatin (podle Ložek, 1973 a Jary, 2000). E – idealizovaný sprašový záznam suché sprašové oblasti střední Evropy.

Dopad HE na teplotní fluktuace oblasti severního Atlantiku je nejlépe zdokumentován na záznamu v grónských ledovcích (obr. 1). Na křivkách izotopů kyslíku je patrné, že souběžně s dlouhodobými klimatickými cykly, shodně dokládány i hlubokomořským záznamem, charakterizují globální klimatický režim průběžné fluktuace s amplitudou 500 až 3000 let označované jako tzv. Dansgaard-Oeschgerovy cykly, případně jako grónské stadiály (GS) a grónské interstadiály (GI) (Dansgaard et al., 1993). Těch bylo celkově 25, s nejvyšší frekvencí během středního pleniglaciálu (MIS 3; Bond a Lotti, 1995).

Relevantní informace o environmentálním vývoje terestrického prostředí posledního klimatického cyklu poskytují především jezerní sedimenty. V Evropě je v tomto směru pilotní lokalitou La Grande Pile v pohoří Vogéz ve Francii, která poskytuje kompletní sled jezerních sedimentů posledního cyklu a jako první umožnila přímou korelaci terestrického záznamu s hlubokomořským záznamem severního Atlantiku (Woillard, 1978; Woillard a Mook, 1982). Na výsledcích pylové analýzy (doplněné později o data z dalších francouzských lokalit Les Echets a La Velay) byla demonstrována výrazná synchronicita klimatických výkyvů globálního charakteru s vývojem vegetace v subatlantické části Evropy (viz obr. 1). Neméně důležitým ukazatelem environmentálních změn je i samotná sedimentární výplň jezera: teplejším fázím s hustším vegetačním porostem odpovídají organické/organo-minerální až rašelinné polohy, zatímco v chladných pleniglaciálních podmínkách s řídkou vegetací je v sedimentu výrazné zastoupení klastické složky.

V S a SZ Evropě se vegetační vývoj interstadiálních období časného glaciálu posledního cyklu liší především výraznějším zastoupením boreálních elementů, jak je patrné z paleobotanických analýz organických poloh v sekvencích klastických sedimentů významných lokalit Brörup, Oderade, Oerel, Glinde, Moershoofd, Henegelo a Denekamp³, či zazemněných jezer Sokli ve Finsku a Horoszki Duże ve východním Polsku (Hellmens, 2014).

Ústředním zdrojem informací o environmentálních procesech posledního glaciálu se však v poslední době stávají poznatky získané ze sedimentárních sekvencí maarových jezer v regionu Eifel v dolním Porýní (Engels et al., 2008; Dietrich a Sirocko, 2011; Sirocko et al., 2016; Brunck et al., 2016). Varvové sedimenty dosahující mocnosti až 120 m pokrývají převážnou část posledního glaciálu a svým rozlišením se vyrovnávají ledovcovému záznamu. Přímá korelace glaciálního úseku těchto dvou záznamů prokázala mj. velmi silnou reakci terestrického ekosystému na teplotní změny severního Atlantiku, včetně krátkodobých, desítky až stovky let trvajících klimatických výkyvů (Sirocko et al., 2016).

Zmíněné sledy organických a organo-minerálních sedimentů posledního glaciálu nicméně ilustrují pouze situace v severních a severozápadních oblastech, tedy v regionech s nezpochybnitelným vlivem oceánického klimatického režimu. Z vnitřních částí kontinentu, kde lze v důsledku rozdílných makroklimatických parametrů očekávat divergentní environmentální vývoj, nejsou podobně kompletní sekvence k dispozici. Zdroj relevantních paleoklimatických informací je proto třeba hledat v jiných faciích, kvalitativně značně odlišných.

V geomorfologických podmínkách střední Evropy jsou těmito kvartérními faciemi především sprašové série, kterým je věnována následující kapitola.

3.2. Spraše jako zdroj paleoklimatické informace

Spraš je charakteristický kvartérní sediment s celou řadou specifických vlastností. Jednou z nich je dokonalá zrnitostní vytríděnost. Naprostá převaha prachové zrnitostní

³ Podle těchto lokalit byly pojmenovány jednotlivé interstadiální fáze posledního glaciálu S a SZ Evropy (srov. obr. 1).

frakce (0,02-0,002 mm) hovoří jednoznačně o dálkovém větrném transportu (písek a jíl tvoří ve spraši jen doplňující, kontextuálně specifickou složku). Ten se může uplatnit pouze v rozsáhlých bezlesých oblastech, v podmínkách extrémního sucha a mimořádné amplitudy denních a sezonních teplotních výkyvů, předznamenávajících prachový rozpad hornin a vznik rozsáhlých obnažených povrchů sypkých sedimentů – pouští, obnažených kontinentálních šelfů, fluviálních, ledovcových a proluviálních akumulací, jejichž jemnozrnná složka se stává zdrojovým materiálem větrného transportu. Takovéto podmínky, které spraš pro dobu svého vzniku jednoznačně indikuje, dnes v Evropě neznáme. Tvorba spraší je tedy vázána výhradně na období glaciálů, především pak na jejich vrcholové fáze (pleniglaciály) a v terestrickém záznamu představuje také jednoznačný doklad glaciálních úseků.

Klíčovým zdrojem vlastností spraše je vysoce specifická postsedimentární diagenese prachové akumulace – zesprašnění či lesifikace. Prachová zrna živců při ní prošla iniciálním chemickým zvětráním s uvolněním mobilních kationtů (Na, K, Ca). V podmínkách srážkově deficientního glaciálního klimatu ovšem nedošlo k úplnému vyplavení vápníku, který zde zpětně agreguje na zrna silikátů (Pécsi, 1990). Díky takto vzniklému pelitomorfismu karbonátu, potenciálně snadno uvolnitelnému, jsou spraše ideálním fosilizačním prostředím pro vápnité ulity měkkýšů a kosti obratlovců⁴.

Specifické diagenetické a fosilizační vlastnosti spraší vytvářejí jednotný rámec pro vývoj půd během interglaciálů a interstadiálů. A protože typ půdy, její chemické a strukturní charakteristiky jsou jednoznačně podmíněny poměry vegetačního krytu a charakterem klimatu (Muhs, 2007), lze ze specifík jednotlivých půdních komplexů a úrovně zvětrávacích procesů surových spraší poměrně spolehlivě usuzovat rovněž na vegetační a klimatická specifika příslušného období a jednotlivé profily mezi sebou korelovat.

Tento pohled, představující dnes jeden z úhelných kamenů kvartérní vědy, byl prvně rozpracován na opěrných sprašových profilech střední Evropy - Dolní Věstonice, Modřice, Podbaba, Paudorf, Göttweig (Kukla et al., 1961; Ložek, 1968; Kukla 1969; 1975; Fink a Kukla, 1977). Na základě podrobného srovnání těchto sprašových profilů a jejich faunového obsahu byl počátkem šedesátých let Vojenem Ložkem a Jiřím Kuklou sestaven obecný model sledu charakteristických půdních komplexů⁵ (PK). Tyto pedokomplexy vystupovaly od prvopočátku paleopedologického studia střední Evropy pod různými názvy (PKIII-PKI, Stillfried A/B, Paudorf, Komorníky atd.) jako zásadní jednotky pedostratigrafie kvartéru a jevy umožňující korelaci příslušných sedimentárních sledů v regionálních i supraregionálních škálách.

⁴ Obsah CaCO_3 se ve středoevropských spraších obvykle pohybuje mezi 7-15%; většina minerální frakce je tvořena křemenem (~50 %), dále živci (~10%), slídou (5-10%) a těžkými minerály (< 5%) (Pelíšek, 1969; Maruszczak a Wilgat, 1995); z jílových minerálů výrazně převládá illit a kaolinit (~80%), v menším zastoupení se pak vyskytují montmorilonit a smektit, jejichž relativní množství se v evropských spraších zvyšuje směrem na východ (Rousseau et al., 2007).

⁵ Půdní komplex je souhrnný zákonitý stavby, v němž má převahu půda a půdní sedimenty. Může se vytvořit pouze na stanovištích, kde jsou jednotlivé fáze půdního vývoje vzájemně odděleny novou sedimentací (svahy).

Na výše zmíněných lokalitách suché sprašové oblasti byly později vypracovány postupy charakterizující současný komplexní přístup k problematice spraší, založený na detailním zhodnocení postsedimentárních procesů, resp. možnosti využít spraší jako podrobného archívu paleoenvironmentálních změn (viz Frechen et al., 2011).

Takovýto pohled byl umožněn především díky posunu metodologického standardu sprašového výzkumu. Ten se odvíjí v první řadě od radikálního spektra instrumentálních metod, včetně metod paleoenvironmentální analýzy. K základním postupům v tomto směru patří dnes nástroje environmentálního magnetismu a geochemické analýzy (Liu et al., 2007). Ačkoliv je souběžné použití těchto dvou metod ve výzkumu spraší využíváno spíše omezeně, současné studie naznačují, že takovýto přístup poskytuje poměrně robustní nástroj paleoklimatické analýzy (podrobněji viz **kapitola III/1**). Možnosti instrumentální analýzy sprašových sérií byly během posledních 20 let soustavně zdokonalovány a doplňovány o další netriviální multidisciplinární metodologické postupy, zcela nové nebo doposud používané v jiném kontextu. Vůdčí roli mezi nimi hraje chemie izotopů, jež je orientovaná především na kvantifikaci klimatických indikátorů (izotopy $\delta^{18}\text{O}$ a ^{10}Be), rekonstrukci vegetace a srážkových úhrnů ($\delta^{13}\text{C}$ z organických zbytků, analýza uhlovodíků) případně na zjišťování provenience zdrojového materiálu ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).

Aplikovatelnost instrumentálních metod se pak odvíjí v první řadě od pokroku v možnostech absolutního datování spraší. Zásadní jsou v tomto smyslu metody luminiscenční (opticky stimulovaná luminiscence – OSL, termoluminiscence – TL a luminiscence stimulovaná infračerveným zářením – IRSL). Současný časový dosah metody se pohybuje okolo 300 ka, což zahrnuje poslední dva klimatické cykly (MIS 8 – MIS 2), tedy období, jež je v evropském sprašovém záznamu zastoupeno zdaleka nejhojněji a existují k němu tudíž i nejpodrobnější kontextuální informace.

V kombinaci s dalšími datovacími metodami (AMS ^{14}C , amino-acidová chronologie, tefrochronologie) a velmi podrobným vzorkováním glaciálních úseků se otevřela možnost postihnout a precizně stratigraficky zařadit i efekty krátkodobých klimatických výkyvů nejmladších cyklů (např. Dansgaard-Oeschgerovy oscilace), resp. oddělených výkyvů uvnitř jednotlivých MIS zón.

Klimatostratigrafické výstupy lze pak korelovat s ledovcovým záznamem, jezerními sedimenty či výsledky isotopových analýz speleothém (Maher, 2016). V Evropě byla v nedávné době takto zpracována např. západoněmecká lokalita Nussloch, kde se podařilo korelovat hrubozrnnější složku pleniglaciální spraše s prachovými vrstvičkami grónského ledovce reprezentující intervaly v řádu stovek let (Antoine et al., 2009).

Takovéto rozlišení, blížící se podrobným záznamům jezerních uloženin, bylo v dřívějších dobách těžko představitelné. Spraše se tak jeví, prizmatem současných instrumentálních analýz i díky svému plošnému rozšíření, jako ideální facie pro získání regionálních paleoklimatických informací na jemné stratigrafické škále, což může být vstupní krok k pochopení chodu globálního klimatu.

V tomto smyslu byly v nedávné době započaty systematické práce v Německu, Polsku,

Maďarsku, na Ukrajině a především pak v Srbsku, kde se podél Dunaje a Tisy zachovaly vůbec nejkontinuálnější evropské série (srov. Marković et al., 2015).

Transregionální srovnání sprašového záznamu mimo jiné poukázalo na skutečnost, kterou opakovaně zdůrazňovaly již výstupy klasické sprašové geologie (např. Haase et al., 1970; Kukla et al., 1977; Pye, 1987; Bronger a Heinkele 1989; Pesci, 1990): spraše a paleopůdy jeví v jednotlivých evropských regionech (i v rámci samotných regionů) značnou faciální divergenci. Zonalita sprašového a půdního vývoje je patrná zejm. podél současného SZ–JV a S–J klimatického gradientu, tj. z oceánických oblastí v severozápadní a severní Evropě přes střední Evropu směrem k mediteránu a Černému moři – přímým důsledkem je např. nižší intenzita ilimerizačních procesů interstadiálních a interglaciálních půd ve vnitřních částech kontinentu (Panonská pánev, východevropské stepi), resp. zvýšená intenzita glejových a soliflukčních procesů v severních a severozápadních okrajích (Belgie, Sasko, Polsko). Mimo vlivy materiálové provenience a prvků geomorfodynamických je tento stav zjevně způsoben odlišnou úrovní zvětrávacích a pedogenetických procesů. Podrobné zhodnocení klimatických faktorů podílejících se na této variabilitě, korelace výsledků a následné transregionální paleoklimatické rekonstrukce posledního glaciálního cyklu jsou hlavní výzvou současného instrumentálně orientovaného sprašového výzkumu (Frechen, 2011). Situaci nicméně poněkud komplikuje fakt, že těžiště současných výzkumů leží mimo klasickou sprašovou oblast střední Evropy, která tak zůstává, s ohledem na současný metodologický standard, zpracována jen velmi nedostatečně, což v plném rozsahu platí pro prostor bývalého Československa⁶. Toto území je však, jak již bylo zmíněno, díky své pozici na rozhraní mezi oceánickým a kontinentálním klimatickým režimem, zcela zásadní pro pochopení dynamiky pleistocenního klimatu na evropském kontinentu.

Snahou výzkumu, jehož výstupy jsou prezentovány v kapitolách **III/1-3**, bylo pomocí komplexní analýzy dostupných středoevropských sprašových sérií takovýto druh paleoklimatické informace získat a poznatky interpretovat v kontextu s výstupy obdobně zaměřených sprašových výzkumů v kontinentální, resp. oceanické části Evropy. Zásadní výchozí výhodou, kterou je zde třeba zmínit je fakt, že z našeho území pochází celá řada opěrných lokalit klasické fáze sprašového výzkumu, velmi podrobně zpracovaných (srv. Demek a Kukla, 1969), včetně paleoklimatických a paleoekologických interpretací zohledňujících fosilní záznam měkkýšů a obratlovců (Ložek, 1964; Horáček a Ložek, 1988), palynologické poznatky (Urban, 1984), výsledky paleopedologických analýz (Smolíková, 1982) i rozsáhlé výstupy soustavných výzkumů archeologických (Klíma et al., 1962; Svoboda et al., 1996).

Rekonstrukce pedo-sedimentárního a environmentálního vývoje suché sprašové oblasti

⁶ Instrumentální data odpovídající současnému standardu jsou víceméně omezena na výsledky multidisciplinárních výzkumů profilu v Dolních Věstonicích (Oches a Benerjee, 1995; Bábek et al., 2011; Antoine, 2013; Fuchs et al. 2013).

vychází z velké části právě z poznatků výše zmíněných výzkumů. Následující kapitola nabízí podrobnější pohled na poslední klimatický cyklus tohoto území a upozorňuje na dosud nevyřešené paleoenvironmentální a stratigrafické otázky sprašové problematiky.

3.2.1. Poslední klimatický cyklus v suché sprašové oblasti střední Evropy

Bazální polohu svrchního pleistocénu v klasické suché sprašové oblasti střední Evropy⁷ reprezentuje pedokomplex **PK III** (spodní úsek Stillfriedu A). Ten je výsledkem funkční superpozice odlišných pedogenetických procesů, probíhající během celého Eemu. PK III sestává v ideálním případě ze dvou půdních horizontů oddělených tenkou vrstvou eolických sedimentů případně svahovin: spodní luvický horizont lesní parahnědozemě, z něhož je v záznamu v důsledku pozdně eemských erozních procesů obvykle zachován pouze Bt horizont (o erozi humického A horizontu eemských luvizemí podrobněji v [kapitole III/1](#)) a svrchní humický horizont černozemě. V případě, že tyto půdy nejsou odděleny vrstvou sedimentu, zasahuje černozemní pedogenetický proces i spodní luvický horizont a celý komplex je zachován jako polygenetická pseudočernozem (Smolíková, 1982). Takovouto pedogenetickou historii mohou mít interglaciální půdy ze sprašových platů vnitřní části Karpatské pánve (pedokomplex S1 *sensu* Marković et al., 2006), kde závěrečná fáze pedogeneze (odpovídající již období časného glaciálu, viz níže) zatlačí pedogenetický záznam starší historie úseku a výsledný komplex je tradičně interpretován jako černozemní horizonty vyvinuté pod stepní vegetací (Bronger a Heinkele, 1989; Marković et al., 2009). Vzhledem ke značným odchylkám ve výsledcích absolutního datování pedokomplexu PK III, je jeho korelace s globální klimatostratigrafickou škálou stále předmětem diskusí. V současnosti bývá tento pedokomplex nejčastěji korelován s marinním izotopickým stupněm MIS 5e (Antoine et al., 2013; Fuchs et al., 2014)

Oteplení, ke kterému došlo na konci předposledního glaciálu (~ 127 ka BP), bylo podle všeho velmi náhlé – přechod z pleniglaciálního klimatického režimu do interglaciálního se odehrál v řádu stovek let (Kühl a Litt, 2007). Klima eemského interglaciálu bylo ve střední Evropě obecně teplejší a výrazně vlhčí než klima holocenní (Coope a Böcher, 2000). Iluviální horizonty eemských parahnědozemí proto ve srovnání s holocenními luvizeměmi vykazují mnohem vyšší stupeň zvětrávání primárních i jílových minerálů či zvýšenou intenzitou iluviačních procesů (Sedov et al., 2013). Výrazně teplejší podmínky dokládají mj. i četné nálezy měkkýšů druhu *Drobacia banatica* nebo *Soosia diodonta* v polohách eemských půd. Tyto druhy mají v současnosti areál rozšíření v teplých oblastech jihovýchodní Evropy (Ložek, 2010). Vývoj illimerizované půdy probíhal v podmínkách

⁷ Suchá sprašová oblast je území geograficky odpovídající zhruba současnému areálu černozemí; ve středoevropských podmínkách se spraše vyskytují v nadm. výškách okolo 150-350 m, v oblastech s ročními úhrny srážek menšími než 700 mm. Areál suché sprašové oblasti bývá lemován pásmem sprašových hlín (prachovice, loess-like sediments, Loesslehm) – větrem navátý sediment, který se od spraší liší rezavě hnědým zbarvením, výraznějším zastoupením jílové frakce (až 50 %), četnými limonitovými a manganovými konkréscemi a především pak výrazně nižším obsahem CaCO₃ (obvykle do 1%) (Ambrož, 1947). V Suché sprašové oblasti se sprašové hlíny obvykle nacházejí v nadmořských výškách mezi 300-600 m (v závislosti na regionálních srážkových poměrech), neřídka se však vyskytují i ve vysokohorských oblastech okolo 1000 m n. m.

temperátního lesa, který během Eemu pokrýval téměř kompletní prostor střední Evropy, včetně některých biotopů, které jsou v současnosti přirozeně bezlesé (Ložek, 2008). Vegetačně se Eem od holocénu lišil především výrazným podílem atlanto-mediteránních dřevin (cesmína, břestovec, tis, břechťan), které rostly v tradičních evropských porostech zastoupených liskou, dubem, smrkem, jasanem, jilmem a lípou. Charakteristický je také vysoký podíl habru a naopak velmi malé zastoupení buku, vůdčího vegetačního prvku holocénu (Novenko et al., 2008). Z paleobotanických dat dostupných ve vysokém rozlišení z několika německých lokalit lze usuzovat, že vývoj půd během Eemu mohl být ve střední Evropě podobný jako v předchozích interglaciálech, resp. odpovídal schématu Iversonova cyklu⁸ (Iversen, 1954); od současného holocénu se však pravděpodobně lišil výrazně delší dobou trvání mezokratického období (Davis, 1976).

Pozdní fáze posledního interglaciálu (~ 119 ka BP) se vyznačuje nástupem borovice na úkor temperátního lesa a zvýšeným podílem stepních prvků. Tomuto trendu předcházela tzv. pozdně eemský puls aridity (Late Eemian Aridity Pulse – LEAP, viz obr. 1), který byl primárně detekován zvýšeným podílem eolické složky v sedimentech maarových jezer v Eifelu a datovaný varvovou chronologií na 118 ka BP (Sirocko et al., 2005). V paleopedologickém záznamu pedokomplexu PK III by této fázi mohla odpovídat poloha (redeponovaných) spraší, oddělující spodní luvický horizont od svrchního černozemního. Vývoj černozemě by pak korespondoval s nástupem kontinentálnějších podmínek, které se v poměrech střední Evropy uplatňovaly ještě výrazněji než v sub-atlantické oblasti, kde černozemní horizonty z období Eemu nejsou známy. Takovýto pedostratigrafický rozvrh je stále předmětem diskusí. Nově dostupná OSL data z profilu Dolní Věstonice (Antoine et al., 2013) však tyto úvahy spíše podporují.

Přestože se o době trvání eemu v kontinentálním prostředí stále vedou diskuse (např. Kukla et al., 1997; 2002; Sánchez-Goñi et al., 2010), na základě korelace vegetačního vývoje s mořským a ledovcovým izotopickým záznamem je pravděpodobné, že poslední interglaciál skončil s nástupem chladné oscilace MIS 5d, zhruba 112 ka BP.

Časný glaciál (MIS 5d-5a; cca 112-70 ka BP) je Evropě obecně charakteristický značnou klimatickou nestabilitou, kdy se klimatický režim, struktura vegetace i dynamika erozně-sedimentačních procesů drasticky měnily během několika let či desetiletí (Wright, 1961). Dochází k nárůstu kontinentálního ledovce v Severní Americe, poklesu hladiny světového oceánu a celkovému vysušení klimatu; v důsledku dočasného přehřívání a vyslazování severních oblastí Atlantiku se opakovaně zastavuje golfský proud a průběžně vyššího zastoupení dosahují prvky suché otevřené krajiny (viz proporce dřevinných a travinných druhů na obr. 1).

⁸ Podle dánského paleobotanika Johanna Iversena, který popsal cyklické zákonitosti vývoje interglaciálního středoevropského a severoevropského lesa jako souslednost fází, jejichž střídání zahrnuje kromě proměnlivého druhového inventáře stromů také vývoj půd a změnu jejich geochemických vlastností (podrobněji viz Pokorný, 2011).

Ve stredoevropském sprašovém záznamu počáteční stadiální fázi MIS 5d s největší pravděpodobností odpovídá poloha koluviálních a eolických sedimentů případně hlinopísků⁹, oddělující pedokomplexy PK III a PK II (obr. 1). Na bázi tohoto souvrství (tj. na povrchu černozemního horizontu) byla na některých lokalitách nalezena 2-3 cm mocná vrstvička jemnozrnného, velmi dobře vytríděného prachu s měkkýší faunou *Pupilla triplicata*, indikující výrazně suché prostředí (srov. Klíma et al., 1962). Původem této vrstvy jsou s největší pravděpodobností mohutné vnitrokontinentální bouře, které v podmínkách aridního klimatu transportovaly jemnozrnné částice dezintegrovaných černozemních horizontů a společně s prachovitou klastickou složkou tento materiál přemísťovaly na vzdálenosti až několika set kilometrů (Kukla, 1977). Od spraše s.s. se tento sediment odlišuje především strukturními parametry (převaha jemně až středně zrnitého prachu, absence jílu a písku) a velmi limitovanými lesifikačními procesy. Vzhledem k tomu, že se s těmito polohami setkáváme téměř výhradně ve sprašových sériích střední a východní Evropy, za jejich zdrojovou oblast jsou považovány rozsáhlé prérijní oblasti východoevropských planin (Kukla, 1977). Část materiálu může pocházet i z místních zdrojů, jak dokládá asociace těžkých minerálů krystalických hornin Českého masívu nalezená v sedimentech této vrstvy (Cílek, 2001). Obdobná vrstva se na některých lokalitách nachází také na povrchu PK II (marker II *sensu* Kukla, 1977). Polohy markerových horizontů představují poměrně důležitý stratigrafický prvek, umožňující korelaci příslušných sedimentárních sledů v regionálních i supraregionálních škálách. Významným korelačním nástrojem se tyto horizonty staly i ve vlastním výzkumu při porovnávání pedo-sedimentárního vývoje sprašových sérií ze středních Čech, resp. jižní Moravy (viz obr. 2 v **kapitole III/1**).

Pedokomplex **PK II** (svrchní úsek Stillfriedu B) se obvykle skládá ze dvou bazálních půd oddělených akumulací hlinopísků. Spodní půda většinou odpovídá degradované černozemi, svrchní pak humóznímu horizontu černozemě až pararendzině. Vývoj půdních horizontů s největší pravděpodobností odpovídá interstadiálním fázím časného glaciálu, tj. MIS 5c a MIS 5a (obr. 1). Tuto korelaci potvrzuje např. i OSL datování profilu v Dolních Věstonicích (Fuchs et al., 2013).

V sub-atlantické části Evropy (kde jsou tyto interstadiály tradičně označovány jako Brørup - Amersfoort a Odderade, případně St. Germain I a II) bylo během teplejších fází stepní společenstvo obohaceno o teplotně i vlhkostně náročnější dřeviny a byliny (dub, smrk, tis, chmel). Oproti tomu ve střední Evropě přetrvával spíše kontinentální ráz podnebí s výraznými teplotními rozdíly zimního a letního období. Celkově teplejší klima (v porovnání se stadiálními fázemi časného glaciálu) dokládají nálezy měkkýších společen-

⁹Hlinopísky (pellet sands, lehmbrockelsand) jsou specifické rytmicky zvrstvené svahové sedimenty, tvořené hlinitými agregáty velikosti písčitých zrn. Reprezentují období přívalových dešťů, které nastaly po dlouhodobějších aridních podmínkách – tvoří se na mírných svazích s řídkým travnatým porostem plošným splachem vysušeného a dezintegrovaného jílovito-prachovitého povrchu (Kukla et al., 1961). Obdobné sedimenty se vznikají i v současnosti, ale většinou bývají značně přetvořeny aktivitami půdního edafonu. S ohledem na jejich genezi, mají polohy hlinopísků poměrně důležitou výpovědní hodnotu o klimatu. Výpovědní hodnota paleontologická je však značně omezena kvůli převažující alochtonní komponentě tohoto sedimentu.

stev s indexovými druhy *Helicopsis striata*, *Pupilla muscorum*, *P. triplicata* či *Vallonia costata* (Ložek, 1996). Klima však bylo, ve srovnání se západněji situovanými oblastmi, celkově velmi aridními, jak naznačuje hojná přítomnost xerothermní druhů měkkýšů *Granaria frumentum*, *Chondrula tridens* a *Helicopsis striata* (Klíma et al. 1962). Nejbližší analogické asociace měkkýších fauny jsou dnes známy z úpatí Uralu. Rozsah kontinentálních stepí, ve sprašových sériích vymezený černozeměmi PK II, byl na území bývalého Československa zhruba podobný jako dnešní černozemní okrsy. Výše se pravděpodobně táhl pás tajgy (Ložek, 1955; 2011). Rozdílné klimatické a vegetační podmínky západní a střední Evropy během interstadiálů časného glaciálu jsou pravděpodobným důvodem odlišného paleopůdního vývoje těchto regionů: Fosilní půdy, stratigraficky odpovídající stepním černozemím PK II, jsou v západní Evropě zastoupeny šedozeměmi, příp. černicemi (Mossbach Humus Zone v Německu, půdy Saint-Sauflieu a Bettencourt v severozápadní Francii) a nesou výrazné znaky degradace a hydromorfismu (Semmel, 1968a, Bibus et al., 2002; Antoine et al., 2016). Paleopedologická korelace interstadiálních fází časného glaciálu s vnitřními oblastmi Panonské pánve je nesmírně komplikovaná, neboť bazální půdy černozemního typu, označované zde souhrnně jako V-S1 a stratigraficky řazené do MIS 5 (Markovič et al., 2006; 2009; 2015) jsou obvykle zachovány jako nediferencovaný komplex polygenetického charakteru. Problematika faciální divergence eemských a časně glaciálních paleopůd v rámci suché sprašové oblasti je podrobněji rozebrána v **kapitole III/1**.

Na povrchu svrchní černozemě PK II se často nachází další markerový horizont (marker II), překrytý obvykle několika decimetrovou vrstvou hnědo-šedých hlinopísků a spraše. Toto souvrství již náleží **časnému pleniglaciálu** (MIS 4). Střídání svahové a eolické sedimentace, soliflukce a častá erozivní rozhraní dokumentované na mnoha sedimentárních profilech střeoevropských nížin a vrchovin (např. Ložek, 1968; Ložek, 1980; Antoine et al., 2013) svědčí o značně nestabilním prostředí časného glaciálu. V jeho svrchním úseku již převažuje eolická sedimentace spraší (typicky se zvýšeným podílem hrubozrnné komponenty) s dominancí Pupilové fauny (*Pupilla loessica*, *Pupilla alpicola*, *Columella columella*, *Vertigo pseudosubstriata*, *Vallonia tenuilabris* atd.), ilustrující všeobecný ústup lesa a vznik rozlehlých sprašových stepí.

Oteplení, ke kterému došlo s nástupem **středního pleniglaciálu** (MIS 3; cca 60-30 ka BP) v souvislosti s obnovením činnosti THC (Broecker et al., 1985), umožnilo v některých oblastech rozvoj březo-borové tajgy a omezené šíření i některých náročnějších listnatých dřevin. Série výrazných teplých pulsů, detailně zachycená v ledovcovém isotopickém záznamu (obr. 1), se nejzřetelněji projevila v sub-atlantické části kontinentu, kde v některých úsecích mohly teploty vrůst až téměř na současnou úroveň (Coope, 1973). V SZ Evropě se v sekvencích klastických sedimentů objevuje několik rašelinných poloh datovaných radiokarbonově na 58-54, 51-48, 46-44, 39-36 a 32-28 ka BP (Behre and van der Plicht, 1992). Tvorba těchto organických sedimentů koresponduje s jednotlivými interstadiály uvnitř MIS 3, které byly podle typových holandských a německých lokalit pojme-

novány jako Oerel, Glinde, Moershoofd, Hengelo a Denekamp a později korelovány s příslušnými interstadiálními fázemi z grónských ledovců (obr. 1). V suché sprašové oblasti střední Evropy přetrvával během středního pleniglaciálu stepní ráz krajiny se specifickými společenstvy trav a mozaikou řídkých boreálních lesů (Frenzel, 1987; Ložek, 2011; Feurdean et al., 2014). Náročnější dřeviny (smrk, jasanovo-jilmové luhy atd.) byly pravděpodobně vázány pouze na říční nivy (Komar et al., 2009; Jankovská a Pokorný, 2008). Pásmo parkovité tajgy s porosty odolných dřevin mohlo být na některých místech vyvinuto i nad areálem dnešního rozšíření spraší, jak ukazují malakologické a palynologické analýzy svahovin a rašelinných sedimentů ze západních Karpat či Slovenského krasu (Jankovská, 2002; Ložek, 2006).

Ve sprašových sériích suché sprašové oblasti je období středního pleniglaciálu vymezeno pedokomplexem **PK I**. Ten je obvykle zachován v podobě specifického půdního horizontu odvápněné arktické hnědozemě (většinou v parautochtonní pozici) a iniciálních pseudoglejů, oddělených od sebe polohou svahovin. Nálezy měkkýšů *Trochulus hispidus*, *Succinea putris*, *Vallonia costata* či *Succinella oblonga* z vápnitých poloh hnědozemě v Dolních Věstonicích (Klíma et al., 1961) dokládají relativně řídký vegetační porost, ale výrazně humidnější podmínky než v předcházejícím období. Četná radiokarbonové a OSL datování (např.) opakovaně nasvědčují tomu, že hlavní pedogenetická fáze PK I probíhala během interstadiálu Denekamp (32-28 ka BP), ačkoliv některé výsledky z moravských lokalit naznačují, že se mohl začít vyvíjet již v interstadiálu Hengelo (39-36 ka BP), nebo během některého jiného předcházejícího teplého výkyvu (Richter et al., 2009; Antoine et al., 2013). Interpleniglaciální půdy podobného stáří byly v různých faciálních variacích popsány téměř ze všech regionů evropského sprašového pásma, kde vystupují jako důležité pedostratigrafické jednotky posledního glaciálu¹⁰.

Charakteristickým znakem PK I i většiny ostatních evropských pedokomplexů středního pleniglaciálu je jejich diskordantní pozice vůči podložním sekvencím a výrazné erozivní rozhraní na jejich povrchu (polohy soliflukčních sedimentů, vrstvičky šterku atd., podrobněji viz kapitoly **kapitola III/2 a III/3**). To značí, že (1) svrchní část pedokomplexu byla v pozdní fázi MIS 3 anebo během MIS 2 značně redukována, (2) vzhledem k tomu, že většina zachovalých půd byla datována do středního a svrchního úseku MIS 3 (> 40 ka BP) ve sprašovém záznamu chybí poměrně dlouhé období, během něhož jsou z jiných facií doloženy minimálně 2 výrazné teplé pulsy (Oerel, Glinde)¹¹. Tento stav dost znesnadňuje podrobnější klimatické interpretace středního pleniglaciálu ze sprašových sérií. Půdy, korepondující s příslušnými interstadiály spodního úseku MIS 3 jsou zde známy pouze ze specifických geomorfologických pozic, kde byly chráněny před odnosem a zároveň průběžně

¹⁰ Např. kambizemě a gleje komplexu Saint-Acheul/Villiers-Adam v severní Francii (Antoine et al., 2003), resp. komplexů Gräselberger a Löhner Boden v Německu (Antoine et al., 2009); tundrové gleje z Polska (komplex Komorniky; Jersak, 1973; Jary, 2009); dvojice slabě vyvinutých boreálních půd komplexu Vytachiv na Ukrajině (Rousseau et al. 2001, Gerasimenko, 2006); horizonty slabě černozemě vyvinuté či kambizemě alternující s vrstvami spraše ve středním a dolním Podunají (komplexy V-S1L1/Surduk soil/H2, Marković et al., 2006; Antoine et al., 2008; Novothny et al., 2002).

¹¹ Interstadiálu Glinde by mohla eventuálně odpovídat bohunická půda (boreální hnědozem) popsaná ze sprašových lokalit střední Moravy (Valoch, 1976) a datována do období 45-50 ka BP (Richter et al., 2009).

konzervovány dostatečným množstvím sedimentu (lokality Nussloch a Schwalbenberg ve středním a horním Porýní; Antoine et al., 2001; Schirmer, 2003; Schirmer, 2016). Nové poznatky o paleopůdním a klimatickém vývoji staršího úseku MIS 3 z kontinentální části Evropy přináší kapitola **kapitola III/2**.

Plně vyvinutý glaciální režim se všemi průvodními jevy ve střední Evropě nastává s nástupem **svrchního (vrcholného) pleniglaciálu** (MIS 2; ~30-16 ka BP). Vyvázání značného množství atmosférické vody do pevninských ledovců mělo za následek pokles hladiny světového oceánu až o 120 m, výrazné vysušení klimatu a všeobecnou kontinentalizaci prostředí. Dominantním biotem se v podmínkách střední Evropy stává sprašový step, charakteristická specifickou asociací bylinných druhů. Počítat lze s izolovanými prvky tundry a galeriovými porosty některých odolných dřevin v nivách řek (Frenzel, 1985). Zcela svébytného rázu nabývá i malakofauna, v které se mísí elementy kontinentálních stepů, subpolárních a vysokohorských biotopů společně s řadou běžných mezofilních druhů (podrobněji o biotopu sprašové stepi např. Ložek, 2010). Zvýšená frekvence tvorby mrazové klínů a dalších kryogenních fenoménů, datované v periglaciální zóně střední Evropy shodně do období MIS 2 (Vanderberghe, 2001), svědčí o maximálním rozšíření permafrostu; na našem území pravděpodobně spíše nesouvislého, vázaného na příhodné hydrogeologické a geomorfologické oblasti. V podmínkách extrémních teplotních výkyvů silně kontinentálního klimatu (roční průměr teplot byl sice nízký, často pod bodem mrazu, léta však byla poměrně teplá; Freuden et al., 2014) docházelo v období zvýšené vlhkosti také k rozsáhlým půdotokům.

Ve sprašových sériích se proto, zejména ve spodním úseku vrcholného glaciálu, často setkáváme se soliflukčními polohami a sedimentačními hiáty (v sedimentárním záznamu obvykle chybí svrchní část PK I a spodní úsek vrcholného glaciálu). Humidnější období vrcholně pleniglaciálního klimatu jsou ve sprašových sériích reflektovány tvorbou horizontů různých variant glejových půd a kryosolů. Ty mohou mít ve vlhčích okrcích sprašového pásma podobu nápadných komplexů (např. Erbenheimer Boden v Německu - Semmel, 1968b). Nejvýraznější glejový horizont, popsáný z mnoha lokalit severozápadní a střední Evropy (včetně našeho území) je shodně datován do období 26.5-26 ka BP (Haesaerts a Van Vliet-Lanoë, 1981; Haesaerts, 1985) a koreluje pravděpodobně s grónským interstadiálem GI-4. Na Moravě tomuto teplejšímu období odpovídá nejmladší gravetien-ské osídlení, zdokumentované např. na lokalitě Jarošov (Škrdla, 2006). Více informací o půdotvorných procesech svrchního pleniglaciálu na Moravě a ve Slezku přináší **kapitola III/3**. Polohy svahovin a glejů alternují s horizonty čisté spraše, která bývá často obohacena o hrubozrnější komponentu. Na souvislých profilech s vysokou sedimentační rychlostí je možné jednotlivé hrubozrnější polohy korelovat s vrstvičkami prachu v grónských ledovcích (Antoine et al., 2009; Ujvári et al., 2014). Nejvýraznější sprašová fáze nastává v nezaledněné části Evropy během posledního glaciálního maxima (Last Glacial Maximum – LGM; cca 20-18 ka BP). Na našem území, sevřeném tou dobou v úzkém koridoru mezi

Skandinávským ledovcem a rozsáhlým systémem alpského zalednění, byla dynamika eolického transportu prachu umocněna ještě činností glaciálního fénu, způsobeného přítomností stabilní tlakové níže nad nedalekými ledovci. Sprašové akumulace zde proto na závětrných stranách dosahují mnohdy mnohametrových mocností. Vlastní výstupy týkající se dynamiky eolické sedimentace a souvisejících paleoenviromentálních interpretací přináší **kapitola III/3**.

O vysokém podílu prachových částic v atmosféře svědčí přítomnost spraší (sprašových hlín) i v polohách mimo oblast sprašových stepí (300-400 m n. m.) – na vrchovinách i v horském prostředí bývají často součástí svahovin a vyplňují suťové akumulace, tvoří bázi vchodových facií jeskynních sedimentů nebo bazální polohy sedimentárních výplní depresí (jezera, rašeliniště). Svrchní část sprašových sérií posledního cyklu obvykle podlehla erozi, proto je absolutní datování konce sedimentace spraše problematické. Je však pravděpodobné, že v Evropě vyznívá s nástupem humidnějších podmínek pozdního glaciálu, v nichž byla obecně značně snížena dynamika eolického transportu a ve vlhčím prostředí se již nemohl plně uplatnit proces lesifikace. V sušších oblastech vnitřních částí kontinentu mohla tvorba spraší pokračovat výjimečně až do časného holocénu (Obrecht et al., 2015). Sedimentace spraše je vystřídána počínající tvorbou půd nebo mírnou akumulací svahovin. Výrazně se mění dynamika vodních toků – eroze a akumulace se dostávají do rovnováhy a divočí řeky přecházejí na režim meandrujících toků (Tyráček, 1995).

S citelným oteplením, které nastává po vrcholné fázi glaciálního maxima, dochází k poměrně rychlé deglaciaci Evropy (pomořanské stádium) a termální degradaci permafrostu. Tyto procesy po sobě zanechaly řadu depresních struktur, které byly v iniciální fázi zaplňovány okolním klastickým materiálem (v nižších polohách také spraší), později limnickými a organickými sedimenty (viz **kapitola III/4**). Vzhledem k jejich plošnému rozsahu (zejm. v oblastech bezprostředně zasažených ledovcem, tj. s. a sz. Evropa a Alpy) a ideálním faciálním vlastnostem, představují pozdně glaciální jezerní sedimenty klíčový zdroj paleoklimatické informace o tomto období.

Charakteristika pozdního glaciálu a možnosti jeho paleoklimatických rekonstrukcí z jezerních sedimentů jsou shrnuty v následující kapitole.

3.3. Pozdní glaciál

3.3.1. Chronostratigrafie a paleoklimatická charakteristika pozdního glaciálu

Postupný rozpad ledovcového štítu v severoatlantické oblasti, ke kterému došlo s koncem posledního glaciálního maxima (~16 ka BP) umožnil obnovení činnosti THC, což se projevilo globálním zvyšováním teploty (Lowe et al., 2008). Přejít do plně interglaciálního režimu byl však přerušeno obdobím výrazných klimatických výkyvů. Bezprostřední příčinou klimatické nestability tohoto období, souhrnně označovaného jako **pozdní glaciál**, bylo

pravděpodobně opakované narušování právě se rodícího Golfského proudu tavnými vodami Laurentidského ledovce na severoamerickém kontinentu (Clark et al., 2001).

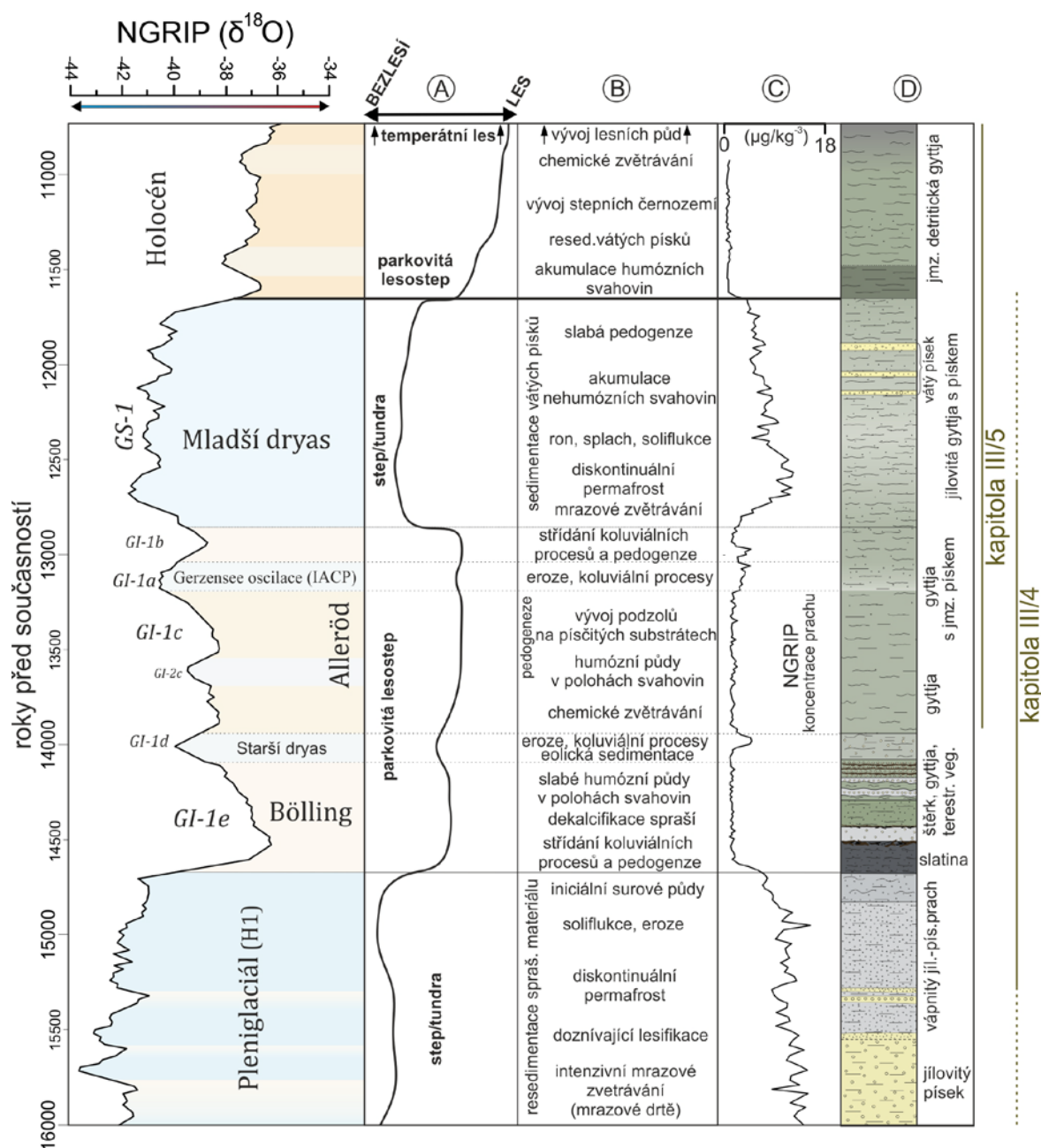
Významným zdrojem informací o klimatickém vývoji pozdního glaciálu jsou výzkumy z baltské a jihoskandinávské oblasti (Iversen, 1954; Berglund, 1966), kde je možné sledovat ve vzájemné korelaci proces deglaciace a vývoje vegetace. Zvláště cenné jsou v tomto smyslu paleobotanické poznatky získané výzkumem tamních rašelinišť a jezerních sedimentů (Jönsen, 1988; Birks, 1993; Mortensen, 2007). Na základě palynologických analýz opěrných severoevropských lokalit byl pozdní glaciál rozdělen na interstadiály *bølling* a *allerød* (podle typových dánských lokalit) a stadiály střední a mladší *dryas* (podle dryádky osmiplátečné, *Dryas octopetalla*, charakteristického rostlinného druhu tehdejší flóry) (Mangerud et al., 1974). Chronostratigrafie pozdního glaciálu byla později zpřesněna korelací jednotlivých vyčleněných biozón s kyslíkovým izotopickým záznamem grónského ledovce¹², který v současnosti představuje jakýsi stratotyp severní polokoule pro přechodové období posledního glaciálu a současného interglaciálu (Lowe, 2008; Rasmussen et al., 2014) (obr. 2).

Zhruba před 14.7 tis. lety dochází v atlantské části Evropy k prudkému nárůstu teplot – interpretace fosilního záznamu brouků (Coleoptera) ze sz. Evropy (např. Coope a Joachim, 1980; Atkinson et al., 1987; van Geel et al., 1989; Ponel a Coope, 1990) naznačují, že průměrné červencové teploty zde vzrostly více než o 7°C, lednové dokonce o 20°C za sto let. Toto oteplení, korespondující s interstadiálem **bølling** (GI-1e; 14.7-14 ka BP) bylo doprovázeno rychlým ústupem Skandinávského ledovce a s určitým zpožděním také šířením pionýrských dřevin (borovice, bříza, osika, vrba, jalovec a další) na úkor stepních druhů.

Ve srovnání s předchozími obdobími se sice jednalo o výrazně teplý úsek, klima však zůstávalo nadále spíše nestabilní, což se mj. projevilo frekventovanou erozí málo konsolidovaného povrchu. Nejvýraznější chladná oscilace nastala zhruba okolo 14 ka BP, kdy byl trend zlepšujících se klimatických podmínek přerušen 100 až 150 let trvajícím ochlazením **středního dryasu** (GI-1d), spojeného s částečnou kontinentalizací klimatu, zvýšenou dynamikou erozních procesů a akumulací vátých písků (Walker, 1995; Brauer et al., 2000). Během **allerødu** (GI-1c; cca 14.2-12.9 ka BP) pokračuje na většině území Evropy všeobecný vzestup diverzity vedoucí v oceanické části kontinentu ke vzniku prvních lesních společenstev, včetně náročnějších dřevin (dub, líska). Izotopická data s grónských ledovců ukazují, že v severním Atlantiku došlo začátkem a koncem *allerødu* ke dvěma zřetelným, zhruba sto let trvajícím chladným oscilacím (GI-2c a GI-1b). Ta pozdější se v některých regionech severní polokoule (včetně severoamerické oblasti) projevila nápadně i v terestrickém záznamu a pod názvem *Intra-Allerød Cold Period* – IACP (případně *Gerzen-see oscilace*, podle jezera ve švýcarských Alpách, kde byla rozpoznána vůbec poprvé) je

¹² Bøllingu a allerødu odpovídá grónský interstadiál GI-1, mladšímu dryasu stadiál GS-1

v poslední době včleňována do klasického chronostratigrafického schématu pozdního glaciálu (Levesque et al., 1993; Ammann et al., 2000; Lowe et al., 2008). Do jaké míry tyto krátkodobé klimatické oscilace mohly ovlivnit environmentální vývoj oblastí mimo sub-



Obr. 2: Půdně-vegetační a erozně-sedimentační vývoj střední Evropy na konci pleniglaciálu (Heinrichův event H1), v pozdním glaciálu a počátkem holocénu v korelaci s kyslíkovým izotopickým záznamem z grónského ledovce (NGRIP Members, 2004). A – křivka relativních změn v otevřenosti krajiny a dominantní biomy v kontinentální části střední Evropy, 200-600 m n. m. (z různých podkladů, např. Pokorný, 2002; Ložek 2007; Freuden et al., 2014); B – převažující pedogenetické a erozně-sedimentační procesy v terestrické formaci středoevropských nížin a pahorkatin (z Walker, 1995; Lowe a Walker, 1997; Ložek, 1973; 2007 a dalších podkladů). C – dynamika eolické sedimentace v severoatlantické oblasti na základě variací prachových částic v grónském ledovci (podle Ruth et al., 2007); D – komponovaný litostratigrafický profil jezerními sedimenty na Třeboňsku.

atlantický region, zatím není úplně zřejmé. Nové poznatky v tomto smyslu přináší výzkum prezentovaný v **kapitole III/4**.

Prudké zhoršení klimatických podmínek, ke kterému došlo s nástupem **mladšího dryasu** (GS-1; cca 12.9-11.7 ka BP), způsobilo opětový postup kontinentálního ledovce na jih

(valy skandinávských morén Billingen, Skövde a Salpausselkä; Rainio et al., 1995, Björck et al., 1995) a částečný návrat ke glaciálním poměrům. Průměrné roční teploty během několika málo sezón klesly až o 10°C a přiblížily se tak hodnotám z pleniglaciálu (Atkinson et al., 1987; Walker et al., 1995); klima bylo výrazně aridnější, krajina nabývá charakter otevřené tundry, ve vyšších polohách pak vzniká zóna mrazových pustin a v okolí větších toků dochází k eolické resedimentaci jemnozrnější klastické složky fluvialních sedimentů a akumulaci větších písků.

Mladší dryas (a s ním formálně i celý pleistocén) byl ukončen okolo 11.7 ka BP náhlým nárůstem teplot, korespondující již s nástupem současného interglaciálu – **holocénu**. V jeho časně fázi lze ještě identifikovat v ledovcovém, marinním i terestrickém záznamu dvě výraznější chladné oscilace – preboreální oscilace a tzv. event 8.2 (Björck et al., 1997; Alley a Ágústssdóttir, 2005). Vlastní poznatky týkající se přechodové fáze pleistocén-holocén a souvisejících environmentálních procesů shrnuje ***kapitola III/5***.

Výše nastíněný klimatický vývoj pozdního glaciálu je charakteristický zejména pro oblast pod bezprostředním vlivem Golského proudu, tzn. především sub-atlantickou část Evropy. Výrazný vliv hydroklimatických změn severního Atlantiku na přilehlé oblasti evropského kontinentu zde dokládá např. velmi přesvědčivá korelace křivek ledovcového a lakustrinního izotopického záznamu, získaná z několika vápnatých jezer s varvou sedimentací (von Grafeinstein et al., 1999; van Raden et al., 2013).

Směrem na východ jsou však jednotlivé klimatické výkyvy pozdního glaciálu (a časného holocénu) stále méně zřetelné, v jižní části Evropy mohou mít dokonce i protichůdný charakter (Watts et al., 1996; Davis et al., 2003). Na našem území, anebo obecněji v kontinentální části střední Evropy, odpovídá sice klimatický vývoj pozdního glaciálu v hrubých rysech popsanému chronostratigrafickému schématu, v paleobotanickém jezerním a rašelinném záznamu zde však jednotlivé výkyvy vykazují mnohem menší amplitudu a některé krátkodobější oscilace se neprojevují vůbec – např. bølling a allerød se zde jeví jako jediné, víceméně homogenní teplé období (Pokorný, 2002; Vočádková et al., 2015). V této souvislosti je však dobré připomenout, že palynologický záznam nemusí být zcela vhodný indikátor pro korelaci této oblasti s klimatickými fluktuacemi severního Atlantiku. Mimo makroklimatických parametrů je důležité mít na zřeteli také fakt, že zde místy patrně přežívaly i některé náročnější prvky, které se při mírném zlepšení klimatických podmínek mohly okamžitě šířit (Ložek, 2007). Důležitá je také skutečnost, že ve srovnání s oblastmi severní a severozápadní Evropy, kde jezerní sedimenty patří k nejhojněji zastoupeným kvartérním faciím, jde na našem území o fenomén dosti ojedinělý. Limnická prostředí mají u nás vesměs charakter pramenných mokřadů a rašelinišť, skutečná jezera faciálně ekvivalentní jezerům severským jsou zde zcela výjimečná.

Nízké rozlišení dostupných sedimentárních archívů, společně s málo zřetelnou diferenciací vegetačního vývoje, může být zásadní příčinou, proč jednotlivé chladné výkyvy kratšího trvání nebyly doposud rozpoznány. Určité východisko nabízí možnost zkoumat environmentální dynamiku příslušného období jiným prizmatem, např. z pohledu dynamiky

erozně-sedimentačních a zvětrávacích procesů. Vztah mezi těmito procesy a klimatickým vývojem na časové škále pozdního glaciálu byl však doposud spíše okrajovým tématem paleoekologických výzkumů a to nejen na našem území, ale v rámci paleolimnologie obecně (na rozdíl od holocénu, kde je tato problematika řešena v rámci četných geoarcheologických studií, např. Lang, 2003; Zolitschka, 2003). Nový pohled na tuto problematiku přináší **kapitoly III/4 a III/5**, v kterých jsou podrobně diskutovány výsledky instrumentálních analýz sedimentu zazemněných jezer v severní části Třeboňské pánve - nejkompletnějších a nejdetailejších pozdně glaciálních sedimentárních archívu ve východní části střední Evropy.

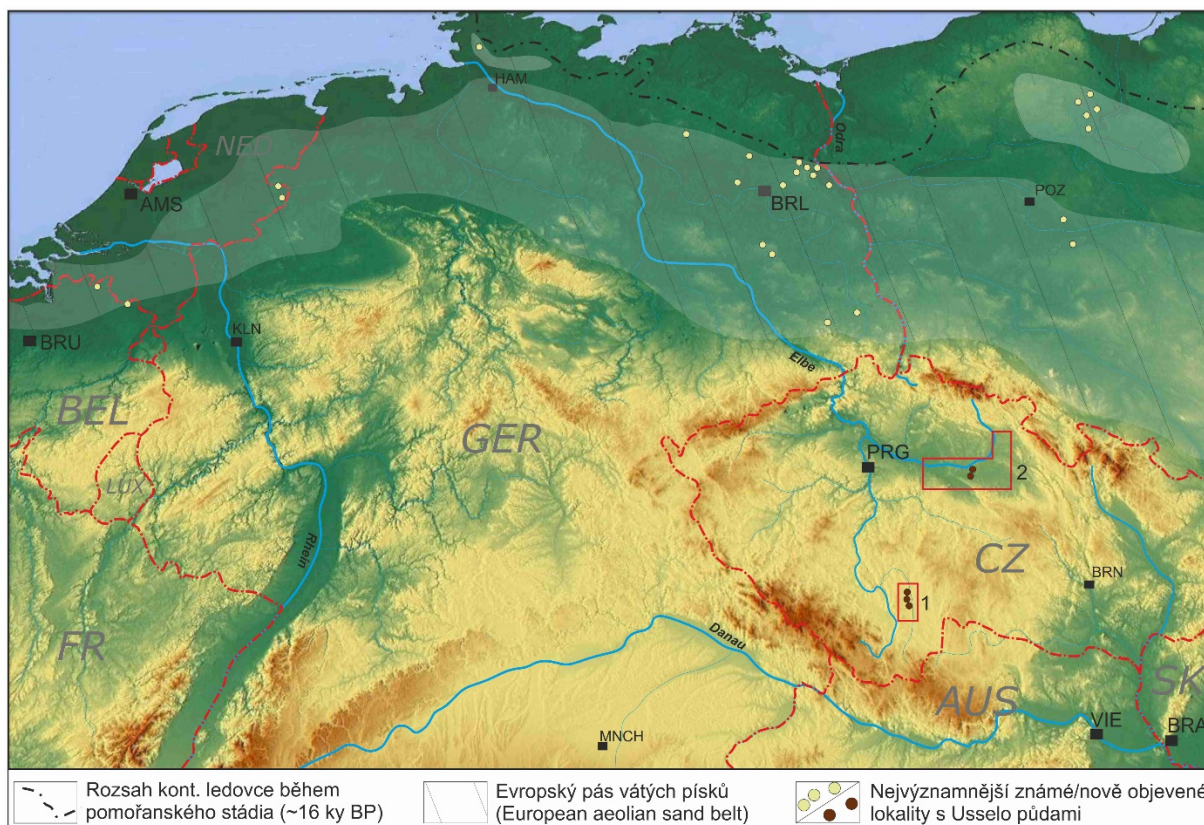
3.3.2. Pedogenetické procesy pozdního glaciálu

Neméně významným zdroj informací o pozdně glaciálním environmentálním vývoji nabízejí rovněž horizonty pohřbených půd. Nicméně, vezme-li v úvahu obecný charakter pozdně glaciálního prostředí, v kterém převažovali odnosné procesy nad akumulací a relativně krátkou dobu interstadiálních fází, během kterých by se mohly půdy vyvíjet, jsou možnosti jejich zachování ve fosilním záznamu značně omezené. Nadto se, na rozdíl od plně glaciálních fází posledního klimatického cyklu v tomto období již v takové míře neuplatňoval větrný transport klastického materiálu, který by vzniklé půdní horizonty chránil před erozí. Doklady o pedogenetických procesech pozdního glaciálu na našem území poskytují nejčastěji sedimentární sekvence svahovin včetně výplní jeskynních vchodů. Zvláště cenné jsou v tomto smyslu krasové oblasti, kde lze půdní vývoj korelovat s paleozoologickými a archeologickými doklady a ve vzácných případech zkoumat i v rámci souvrství pěnoveců (Ložek, 1974; Ložek a Horáček, 1992; Ložek a Cílek, 1995). Množství paleoekologických výzkumů v těchto oblastech doložilo přítomnost humózních horizontů korespondující s interstadiálními fázemi pozdního glaciálu, i když intenzita půdních procesů je ve srovnání s holocenními úseky (preboreál, časný atlantik) spíše zanedbatelná (Ložek a Cílek, 1995).

Nutno také dodat, že půdní horizonty koluviálních sekvencí jsou, vzhledem ke specifickým úložným podmínkám tohoto prostředí, zachovány téměř vždy v sekundární pozici (obvykle zde vystupují jako tmavé horizonty hlinitého materiálu, který vyplňuje klastickou matrix) a primární texturní znaky původní půdy jsou tak smazány (Kukla a Ložek, 1957). Stručně řečeno, polohy humózních hlín sice dokládají půdotvorné procesy teplých úseků pozdního glaciálu a s ohledem na fosiliférní prostředí krasových oblastí poskytují i četné informace o vývoji bioty (především měkkýšů), povaha záznamu však znemožňuje studovat podrobněji faciální vývoj a historii samotných půd. Výpovědní hodnota těchto půd je proto s ohledem na heterogenní povahu záznamu v případě výzkumu klimatem podmíněné faciální variability velmi nízká (nehledě na lokální specifika nálezového kontextu).

Z tohoto pohledu jsou mnohem cennější půdy ležící uvnitř sekvencí vátých písků. V Evropě se nejrozsáhlejší sledy tohoto sedimentu nacházejí v předpolí tehdejšího kontinentálního ledovce (pomořanské stádium) – v severozápadní a severní části střední Evropy. Zde docházelo během stadiálních fází k intenzivní resedimentaci jemnozrné složky proglaciálních štěrkopísků. Ta akumulovala na příhodných místech v podobě dun vátého písku, který zde tvoří dominantní kvartérní facií (European aeolian sand belt, obr. 3).

Nejvyšší dynamika eolických procesů je vázána na mladší dryas (tzv. Younger Coversand II; Kasse, 2002). Duny mlado dryasových vátých písků často pohřbily i půdy vyvinuté během allerødu na vátých píscích ze stadiálu starší dryas (Younger Coversand I).



Obr. 3: Přibližný rozsah vátých písků v rámci EASB (podle Zeeberga, 1998) a nejvýznamnější lokality s Usselo soils (žlutě). Červeně jsou vyznačeny nově objevené lokality na Třeboňsku (1) a v Polabí (2).

Tyto paleopůdy mají charakteristický faciální vývoj a pod souhrnným názvem *Usselo soils* (případně *Finnow soils*; podle typové holandské, resp. německé lokality) byly zdokumentovány na desítkách míst v Belgii, Holandsku, Německu a Polsku (obr. 4). Jedná se většinou o různé typy podzolů, které v rámci souvrství stadiálních vátých písků tvoří významný markerový horizont (Hijszeler, 1957; Manikowska, 1982; Hoek, 1997; Schirmer, 1999; Kaiser et al., 2009). Na povrchu *Usselo soils* se často nachází zřetelná vrstva uhlíků, o jejímž původu se stále vedou diskuse (přírodní požáry vs. extraterestrické příčiny; viz van Hoesel et al., 2012). Tyto půdní horizonty poskytují důležitý zdroj paleoekologických informací o vývoji terestrického prostředí pozdního glaciálu, komplementární s poznatky z palynologických analýz rašeliníšť a jezer – umožňují mj. zkoumat v širších souvislostech dynamiku různého spektra environmentálních procesů, jakými jsou např. sukcese lesních

ekosystémů, eroze, požárová dynamika atd.

Díky petrograficky jednotnému charakteru substrátu a víceméně shodným úložným poměrům lze předpokládat, že rozhodujícím činitelem, podílejícím se na vývoji zmíněných půd bylo klima. Klimatické podmínky panující během pedogeneze pak lze na základě různých instrumentálně analytických postupů do určité míry rekonstruovat. A vzhledem k jejich relativně velkému plošnému rozsahu v rámci evropského pásu váťých písků lze tyto markerové půdy, podobně jako pedokomplexy sprašových sérií, využít jako zdroj informací o geografické variabilitě klimatu. Takovýto komparativní výzkum však doposud nebyl proveden.

Je třeba také zmínit, že *Usselo (Finnow)* půdy byly doposud popsány pouze ze zeměpisných šířek zhruba mezi 55. - 52. rovnoběžkou. Z jižnějších oblastí, včetně našeho území, kam zalednění posledního glaciálu nezasahovalo a kde je sedimentace váťých písků vázána víceméně pouze na bezprostřední okolí větších řek, nejsou tyto půdy známy. Nová zjištění v tomto smyslu přináší poznatky shrnuté v ***kapitole III/4***. Nálezy faciálně a stratigraficky odpovídajících půd pod dunami váťých písků v okolí Lužnice (viz obr. 3) umožňují posunout hranici výskytu *Usselo soils* v Evropě o více než 250 km jižněji, čímž se otevírá možnost zkoumat pedogenetické a další související environmentální procesy pozdního glaciálu v širším paleogeografickém kontextu. Perspektivní je z tohoto pohledu i výzkum v Polabí, kde byly v nedávné době objeveny pohřbené půdy podobných parametrů (Hošek, nepubl.)

Literatura:

- Alley, R.B., Ágústssdóttir, A.M., 2005. The 8 k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews* 24, 1123-1149.
- Ambrož, V., 1947. Spraše pahorkatin. *Sbor. Stát. geol. Úst.* 14, 255-280.
- Ammann, B., Birks, H.J.B., Brooks, S.J., Eicher, U., von Grafenstein, U., Hofmann, W., Lemdahl, G., Schwander, J., Tobolski, K., Wick, L., 2000. Quantification of biotic responses to rapid climatic changes around the Younger Dryas - a synthesis. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 159, 313-347.
- Andrews, J. T., 1998. Abrupt changes (Heinrich events) in late Quaternary North Atlantic marine environments: A history and review of data and concepts. *J. Quat. Sci.*, 13(1), 3-16.
- Antoine, P., Rousseau, D.D., Zöller, L., Lang, A., Munaut, A.V., Hatté, C., Fontugne, M., 2001. High resolution record of the Last Interglacial-Glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area Germany. *Quaternary International* 76-77, 211-229.
- Antoine, P., Catt, J., Lautridou, J.-P., Sommé, J., 2003. The loess and coversands of northern France and southern England. *Journal of Quaternary Science* 18, 309-318.
- Antoine, A., Rousseau, D.-D., Moine, O., Kunesch, S., Hatté, C., Lang, A., 2009. Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch. *Quat. Sci. Rev.*, 28, 2955-2973.
- Antoine, P., Rousseau, D. D.D.-D., Degeai, J. P., Moine, O., Lacroix, F., Kreutzer, S., Fuchs, M., Hatté, C., Gauthier, C., Svoboda, J., Lisá, L., 2013. High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the Last Interglacial-Glacial cycle in Central Europe: the

- loess-paleosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic). *Quaternary Science Reviews*, 67, 17-38.
- Antoine, P., Coutard, S., Guerin, G., Deschodt, L., Goval, E., Locht, J.-L., Paris, C., 2016. Upper Pleistocene loess-palaeosol records from Northern France in the European context: Environmental background and dating of the Middle Palaeolithic. *Quaternary International* 411, 4-24.
- Atkinson, T. C., Briffa, K. R., Coope, G. R., 1987. Seasonal temperatures in Britain during the past 22,000 years, reconstructed using beetle remains. *Nature* 325, 587-592.
- Bábek, O., Chlachula, J., Grygar, T., 2011. Non-magnetic indicators of pedogenesis related to loess magnetic enhancement and depletion: Examples from the Czech Republic and southern Siberia. *Quaternary Science Reviews*, 30, 967-979.
- Behre, K.E., van der Plicht, J., 1992. Towards an absolute chronology for the last glacial period in Europe: radiocarbon dates from Oerel, northern Germany. *Vegetation History and Archaeobotany*, 1 (2), 111-117.
- Berglund, B. E., 1966. Late-Quaternary vegetation in eastern Blekinge, southeastern Sweden. I. Late Glacial time. *Opera Botanica* 12, 180.
- Bibus, E., Rähle, W., Wedel, J., 2002. Profilaufbau, Molluskenführung und Parallelisierungsmöglichkeiten des Altwürmabschnitts im Lössprofil Mainz-Weisenau. *Eiszeitalter und Gegenwart* 51, 1-14
- Birks, H.H., 1993. The importance of plant macrofossils in Late-Glacial climatic reconstructions: an example from Western Norway. *Quaternary Science Reviews* 12, 719-726.
- Björck S., 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.9 ka BP. *Quaternary International* 27, 19-40.
- Björck, S., Rundgren, M., Ingolfsson, O., Funder, S., 1997. The Preboreal oscillation around the Nordic Seas: Terrestrial and lacustrine responses. *Journal of Quaternary Science* 12, 455-466.
- Bond, G. C., Lotti, R., 1995. Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science*, 267, 1005 - 1010.
- Brauer, A., Günter, C., Johnsen, S.J., Negendank, J.F.W., 2000. Land-ice teleconnections of cold climatic periods during the last glacial/interglacial transition. *Clim. Dyn.* 16, 229-239.
- Broecker, W. S., Peteet, D. M. , Rind, D., 1985. Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation? *Nature*, 315, 21-25.
- Bronger, A., Heinkele, Th., 1989. Paleosol sequences as witnesses of Pleistocene climatic history. *Catena Supplement*, 16, 163-186.
- Brunck, H., Albert, J., Sirocko, F., 2016. The ELSA-Flood-Stack: A reconstruction from the laminated sediments of Eifel maar structures during the last 60 000 years. *Glob. Planet. Chang.* 142, 136-146.
- Cilek, V. 2001. The loess deposits of the Bohemian Massif: silt provenance, paleometeorology and loessification processes. *Quaternary International*, 76/77, 123-138.
- Clark, P.U., Marshall, S.J., Clarke, G.K.C., Hostetler, S.W., Licciardi, J.M., Teller, J.T., 2001. Freshwater forcing of abrupt climate change during the last glaciation. *Science* 293, 283-287.
- Clement, A., Peterson, L., 2008. Mechanisms of abrupt climate change of the last glacial period, *Rev. Geophys.*, 46.
- Coope, G. R., 1973. Tibetan Species of Dung Beetle from Late Pleistocene Deposits in England. *Nature*, 245, 335-336.

- Coope, G.R., Joachim, M.J., 1980. Lateglacial environmental changes interpreted from fossil Coleoptera from St Bees, Cumbria, N.W. England. In: Lowe, J.J., Gray, J.M., Robinson, J.E. (Eds.), *Studies in the Lateglacial of North-West Europe*. Pergamon Press, Oxford, 55-68pp.
- Coope, G. R., Böcher, J., 2000. Coleoptera from the Late Weichselian deposits at Nørre Lyngby, Denmark and their bearing on palaeoecology, biogeography and palaeoclimate. *Boreas*, 29, 26-34.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.V., Hvidberg, C.S., Stephensen, J.P., Sveinbjörnsdóttir, A.E., Jouzel, J., Bond, G., 1993. Evidence of general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364, 218-220.
- Davis, M.B., 1976. Pleistocene biogeography of temperate deciduous forests. *Geosci Man* 13, 13-26.
- Davis, B.A.S., Brewer, S., Stevenson, A.C., Guiot, J., Contributors, D., 2003. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quat. Sci. Rev.* 22, 1701-1716.
- Demek, J., Kukla, J., 1969. Periglazialzone, Loss, und Paliolithikum der Tschechoslowakei. *Tschechoslowakische Akademie der Wissenschaften, Geographisches Institut, Brno*, 158pp.
- Dietrich, S., Sirocko, F., 2011. The potential for dust detection by means of μ XRF scanning in Eifelmaar lake sediments. *E & G Quat. Sci. J.* 60 (1), 90-104.
- Elias, S.A., (ed.) 2013. *Encyclopedia of quaternary science*. Elsevier, Amsterdam, 3631 p.
- Engels, S., Bohnke, S.J., Heiri, O., Schaber, K., Sirocko, F., 2008. The lacustrine sediment record of Oberwinkler maar (Eifel, Germany): chironomid and macroremain based inferences of environmental changes during Oxygen Isotope Stage 3. *Boreas* 37, 414-425.
- Engstrom, D.R., H.E. Wright. 1984. Chapter 1: Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In E.Y. Hawthorne and I.W.G. Lund, eds. *Lake Sediments and Environmental History*. University of Minnesota Press. Minneapolis, Minnesota.
- Feurdean, A., Persoiu, A., Tantau, I., Stevens, T., Magyari, E.K., Onac, B.B., Markovic, S., Andric, M., Connor, S., Galka, M., Hoek, W.S., Lamentowicz, M., Sümegi, P., Persoiu, I., Kolaczek, P., Kuneš, P., Marinova, E., Slowinski, M., Michczyńska, D., Stancikaite, M., Svensson, A., Veski, S., Fărcaș, S., Tămaș, T., Zernitskaya, V., Timar, A., Tonkov, S., Toth, M., Willis, K.J., Płóciennik, M., Gaudeny, T., 2014. Climate variability and associated vegetation response throughout Central and Eastern Europe (CEE) between 60 and 8 ka. *Quaternary Science Reviews* 106, 206-224.
- Fink, J., Kukla, G., 1977. Pleistocene climates in Central Europe: at least 17 interglacials after the Olduvai Event. *Quat. Res.* 7, 363-371.
- Frechen, M., 2011. Loess in Eurasia. *Quaternary International* 234, 1-3.
- Frenzel, B., 1985. Die Umwelt des Menschen im Eiszeitalter. *Quartar*, 35/36, 7-33.
- Frenzel, B., 1987. Grundprobleme der Vegetationsgeschichte Mitteleuropas während des Eiszeitalters. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern* 29, 99-122.
- Fuchs, M., Kreutzer, S., Rousseau, D.-D., Antoine, P., Hatte, C., Lagroix, F., Moine, O., Gauthier, C., Svoboda, J., Lisá, L., 2013. The loess sequence of Dolni Vestonice, Czech Republic: A new OSL based chronology of the Last Climatic Cycle. *Boreas* 42, 664-677.
- Guiot, J., A. Pons, J.Ll de Beaulieu, and M. Reille, 1989. A 140,000-year continental climate reconstruction from two European pollen records. *Nature* 338, 309-313.
- Haase, G., Lieberoth, I., Ruske, R., 1970. Sedimente und Palaöböden im Löss, In: Richter, H., Haase, G., Lieberoth, I., Ruske, R. (Eds.). *Periglazial-Löss X-Paläolithikum am Jungpleistozän der Deutschen Demokratischen Republik*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 274, 99-212pp.

- Haesaerts P., 1985. Les loess du Pléistocène supérieur en Belgique. Comparaisons avec les séquences d'Europe centrale. Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire (Paris) 22-23(2-3), 105-15.
- Haesaerts, P., van Vliet-Lanoë, B., 1974. Compte-rendu de l'excursion du 25 mai 1974 consacrée à la stratigraphie des limons aux environs de Mons. Annales de la Société Géologique de Belgique 97 (2), 547-560.
- Helmens, K. F., 2014. The Last Interglacial-Glacial cycle (MIS 5-2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe. Quat. Sci. Rev. 86, 115-143.
- Hemming, S. R., 2004. Heinrich events: Massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint. Rev. Geophys. 42.
- Hijzeler, G.C.W.J., 1957. Late-glacial human cultures in the Netherlands. Geol. Mijnb. 19, 288-302.
- Hoek, W., 1997. Palaeogeography of late glacial vegetations. Aspects of late glacial and early Holocene vegetation, abiotic landscape, and climate in The Netherlands. Neth. Geogr. Stud. 230, 1-147.
- Horáček, I., Ložek, V., 1988. Paleozoology and Mid-European Quaternary past: Scope of the approach and selected results. Rozprawy ČSAV-MPV 94, 1-106.
- Horáček, I., Sánchez Marco, A., 1984. Comments on the Weichselian small mammal assemblages in Czechoslovakia and their stratigraphical interpretation. N.Jb.Geol.Paläont., Mh. 9, 560-576.
- Iversen, J., 1954. The Late-glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. Danm. geol. Unders. Ser. 11, 80, 87.
- Iversen, J. 1958. The bearing of glacial and interglacial epochs on the formation and extinction of plant taxa. Uppsala Universitets Årsskrift 6, 210-215.
- Jankovská, V., Pokorný, P. 2008. Forest vegetation of the last full-glacial period in the Western Carpathians (Slovakia and Czech Republic). Preslia 80, 307-324.
- Jankovská, V., Chromý, P., Nižnanská, M., 2002. „Šafárka“ - first palaeobotanical data of the character of Last Glacial vegetation and landscape in the West Carpathians (Slovakia). Acta Palaeobotanica, Kraków 42, 1, 29 - 52.
- Jary Z., 2000. Struktury peryglacialne vistuliańskiej sekwencji lessowej na Płaskowyżu Głubczyckim, in: M. Łanczont (ed.). Glacja i peryglacja na międzyrzeczu Sanu i Dniestru, przewodnik seminarium terenowego II, Krasieczyn, 4-6 października, 50-52.
- Jersak, J., 1973. Lithology and stratigraphy of the loess on the Southern Polish Uplands (in Polish with English summary). Acta Geogr. Lodz, 32.
- Jönsson, B.L., 1988. The late Weichselian macrofossil flora at Kullaberg, S Sweden, and its palaeoenvironmental implications, Lundqua thesis 24. Lund University.
- Kaiser, K., Hilgers, A., Schlaak, N., Jankowski, M., Kühn, P., Bussemer, S., Przegliska, K., 2009. Palaeopedological marker horizons in northern central Europe: characteristics of Lateglacial Usselo and Finow soils. Boreas 38, 591-609.
- Kasse, C., 2002. Sandy aeolian deposits and environments and their relation to climate during the last glacial maximum and Lateglacial in northwest and central Europe. Prog. Phys. Geogr. 26, 507-532.
- Klíma, B., Kukla, J., Ložek, V., Vries, H., 1962. Stratigraphie des Pleistozins und Alter des paläolithischen Rastplatzes in der Ziegelei von Doln Vestonice. Anthropozoikum, 11, 93-145.
- Komar, M., Łanczont, M., Madeyska, T., 2009. Spatial vegetation patterns based on palynological records in the loess area between the Dnieper and Odra Rivers during the last interglacial-glacial cycle. Quaternary International 198(1-2), 152-172.

- Kühl, N., Litt, T., 2007. Quantitative time-series reconstructions of Holsteinian and Eemian temperatures using botanical data. In: Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M.F., Litt, T. (Eds.), *The Climate of Past Interglacials, Developments in Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam, 239-254.
- Kukla, J., Ložek, V., Záruba, Q., 1961. Zur stratigraphie der Lössen in der Tschechoslowakei. *Quartär* 13, 1-29.
- Kukla, J., 1969. Die zyklische Entwicklung und die absolute Datierung der Löss-serien, Periglazialzone. *Löss und Paläolithikum der Tschechoslowakei*, 75-95.
- Kukla, J., 1975. Loess stratigraphy of Central Europe. After the Australopithecines (eds. Butzer, K. W., Isaac, G. L.). The Hague: Mouton, 99-188.
- Kukla, G., 1977. Pleistocene Land-Sea Correlations I. Europe. *Earth Science Reviews*, 13, 307-374.
- Kukla, J., Ložek, V., 1957. The problems of investigation of cave sediments, *Ceskoslovensky Kras*, 10, 19-83.
- Kukla, G., McManus, J.F., Rousseau, D.D., Chuine, I., 1997. How long was the last interglacial. *Quaternary Science Reviews* 16, 605-612.
- Kukla, G., Bender, M., de Beaulieu, J.-L., Bond, G., Broecker, W.S., Cleveringa, P., Gavin, J.E., Herbert, T.D., Imbrie, J., Jouzel, J., Keigwin, L.D., Knudsen, K.-L., McManus, J.F., Merkt, J., Muhs, D.R., Müller, H., Poore, R.Z., Porter, S.C., Seret, G., Shackleton, N.J., Turner, C., Tzedakis, P.C., Winograd, I.J., 2002. Last Interglacial Climates. *Quaternary Research* 58, 2-13.
- Lang, A., 2003. Phases of soil erosion-caused colluviation in the loess hills of South Germany. *Catena* 51, 209-221.
- Levesque, A.J., Mayle, F.E., Walker, I.R., Cwynar, L.C., 1993. A previously unrecognized lateglacial cold event in eastern North America. *Nature* 361, 623-626.
- Lisiecki, L. E., Raymo, M. E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography* 20, 1-17.
- Liu, Q. S., Deng, C. L., Torrent, J., Zhu, R. X., 2007. Review of recent developments in mineral magnetism of the Chinese loess. *Quaternary Science Reviews* 26, 368-385.
- Lowe, J. J. and Walker, M. J. C., 1997. *Reconstructing Quaternary Environments* 2nd edition. Pearson Education, Edinburgh, 446.
- Lowe, J. J., Coope, G. R., Lerndahl, G., Walker, M. J. C., 1995. The Younger Dryas climate signal in land records from NW Europe. In: Troelstra, S. R., Van Hinte, J. E. and Gansen, G. M. (Eds.): *The Younger Dryas*. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 3-26pp.
- Lowe, J.J., Rasmussen, S.O., Björck, S., Hoek, W.Z., Steffensen, J.P., Walker, M.J.C., Yu, Z.C., Grp, I., 2008. Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. *Quat. Sci. Rev.* 27 (1-2), 6-17.
- Ložek, V., 1964. Quartärmollusken der Tschechoslowakei. *Rozp. Ú.ú. geol.*, Praha, 31, 374.
- Ložek, V., 1968. Mittel- und jungpleistozäne loss Serien in der Tschechoslowakei und ihre Bedeutung für die loss-Stratigraphie Mitteleuropas. Report of the I. International Congress on Quaternary, Warschau, 525-549.
- Ložek, V., 1973. *Příroda ve čtvrtohorách*. Academia, Praha, 372pp.
- Ložek V., 1974. Příroda Českého krasu v nejmladší geologické minulosti. *Bohemia centralis* 3, 175-194.

- Ložek V., 1980. Altersstellung und Umwelt des Aurignacien, in: Colloque Int. L'Aurignacien et Gravettien (Périgordien) dans leur cadre écologique. Inst. Archeol. de l'Acad. Slovaque des Sci. Nitra, 139-151.
- Ložek, V., 2006. Last Glacial paleoenvironments of the West Carpathians in the light of fossil malacofauna. *Anthropozoikum* 26, 73-84.
- Ložek, V., 2007. Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru. Dokořán, Praha, 198pp.
- Ložek, V., 2010. Spraš a sprašová step – přehlížený biom ledových dob II. Sprašová step – významný prvek glaciální krajiny. *Živa* 4, 146-149.
- Ložek, V., 2011. Po stopách pravěkých dějů. O silách, které vytvářely naši krajinu. (Tracing prehistoric developments. Forces that shaped our landscape. In Czech.) Dokořán, Praha.
- Ložek, V., Cílek, V., 1995. Late Weichselian-Holocene sediments and soils in mid-European calcareous areas. *Anthropozoikum* 22, 87-112.
- Ložek, V., Horáček, I., 1992. Slovenský kras ve světle kvartérní geologie. *Slov.kras*, 30, 29-56.
- Maher, B. A., 2016. Palaeoclimatic records of the loess/palaeosol sequences of the Chinese Loess Plateau, *Quaternary Sci. Rev.* 154, 23-84.
- Mangerud, J., Svend, T., Berglund, E.B., Donner, J.J., 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3, 109-128.
- Manikowska, B., 1982. Gleby kopalne w wydymach Polski środkowej. *Roczniki Gleboznawcze* 33, 119-133.
- Markovic, S., Oches, E., Sumegi, P., Jovanovic, M., Gaudenyi, T., 2006. An introduction to the Upper and Middle Pleistocene loess-palaeosol sequences of Ruma section (Vojvodina, Yugoslavia). *Quaternary International* 149, 80-86.
- Markovic, S., Bokhorst, M. P., Vandenberghe, J., Mc Coy, W. D., Oches, E. A., Hambach, U., 2008. Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in the Vojvodina region, north Serbia. *J. Quat. Sci.* 23, 73-84.
- Marković, S.B., Hambach, U., Catto, N., Jovanović, M., Buggle, B., Machalett, B., Zöller, L., Glaser, B., Frechen, M., 2009. Middle and Late Pleistocene loess sequences at Batajnica, Vojvodina, Serbia. *Quaternary International* 198, 255-266.
- Marković, S.B., Stevens, T., Kukla, G.J., Hambach, U., Fitzsimmons, K.E., Gibbard, P., Buggle, B., Zech, M., Guo, Z., Hao, Q., Wu, H., O'Hara Dhand, K., Smalley, I.J., Újvari, G., Sümegi, P., Timar-Gabor, A., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, D.A., Jary, Z., Svensson, A., Jovic, V., Lehmkuhl, F., Kovacs, J., Svircev, Z., 2015. Danube loess stratigraphy-towards a pan-European loess stratigraphic model. *Earth-Sci. Rev.* 148, 228-258.
- Mortensen, M.F., 2007. Biostratigraphy and chronology of the terrestrial late Weichselian in Denmark - New investigations of the vegetation development based on pollen and plant macrofossils in the Slotseng basin. Ph.D. thesis, Aarhus University, Denmark. vol. 30.
- Maruszczak, H., Wilgat, M., 1995. Stratigraphical and paleogeographical interpretation of the results of heavy mineral analyses in loesses of Vojvodina. In: Problems of the Stratigraphy and Paleogeography of Loesses in Central Europe (H. Maruszczak, Ed.), *Anales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 173-190pp.
- Muhs, D. R., 2007. Loess deposits, origins and properties, in: Elias, S. (Ed.). *Encyclopedia of Quaternary science*, Vol. 4, Elsevier, 1405-1418pp.
- North Greenland Ice Core Project NGRIP Members, 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.

- Novenko, E.Yu., Seifert-Eulen, M., Boettger, T., Junge, F.W., 2008. Eemian and Early Weichselian vegetation and climate history in Central Europe: a case study from the Klinge section (Lusatia). *Review of Palaeobotany and Palynology* 151 (1-2), 72-78.
- Novothy, Á., Frechen, M., Horváth, E., Wacha, L., Rolf, C., 2011. Investigating the penultimate and last glacial cycles of the Süttő loess section (Hungary) using luminescence dating, high-resolution grain size, and magnetic susceptibility data. *Quaternary International* 234 (1), 75-85.
- Obrecht, I., Zeeden, C., Schulte, P., Hambach, U., Eckmeier, E., Timar-Gabor, A., Lehmkuhl, F., 2015. Aeolian dynamics at the Orlovat loess-paleosol sequence, northern Serbia, based on detailed textural and geochemical evidence. *Aeolian Research*, 18, 69-81.
- Oches, E. A., Banerjee, K., 1995. Rock-magnetic proxies of climate change from loess-paleosol sediments of the Czech Republic. *Studia Geophysica et Geodaetica* 40/3, 287-300.
- Ruth, Urs (2007): Dust concentration in the NGRIP ice core. doi:10.1594/PANGAEA.587836
- Pecsi, M., 1990. Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International* 7 (8), 1-21.
- Pelíšek, J., 1969. Lössablagerungen der trockenen Niederungsgebiete in: Demek, J., Kukla, J. (eds.). *Periglazialzone, Löss und Paläolithikum der Tschechoslowakei-VIII. Internat. Kongress INQUA, Frankreich. Geogr. Inst. ČSAV, Brno*, 18-36.
- Pokorný, P., 2002. A high-resolution record of late-glacial and early-Holocene climatic and environmental change in Czech Republic. *Quat. Int.* 91, 101-122.
- Pokorný, P., 2011. *Neklidné časy. Společné kapitoly ze společných dějin přírody a lidí*. Dokořán, Praha, 370 pp.
- Ponel, P., Coope, G.R., 1990. Lateglacial and Early Flandrian Coleoptera from La Taphanel, Massif Central, France: Climatic and Ecological Implications. *Journal of Quaternary Science* 5, 235-249.
- Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposit*. London, Academic Press, 334.
- Rainio, H., Saarnisto, M., Ekman, I., 1995. Younger Dryas end moraines in Finland and NW Russia. *Quaternary international* 28, 179-192.
- Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Svensson, A.M., Steffensen, J.P., Vinter, B.M., Clausen, H.B., Siggaard-Andersen, M.L., Johnsen, S.J., Larsen, L.B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M.E., Ruth, U., 2006. A new Greenland ice core chronology for the late glacial and early Holocene. *Journal of Geophysical Research* 111, 108-135.
- Richter, D., Tostevin, G., Skrdla, P., Davies, W., 2009. New radiometric ages for the Early Upper Palaeolithic type locality of Brno-Bohunice (Czech Republic): comparison of OSL, IRSL, TL and ¹⁴C dating results. *Journal of Archaeological Science* 36, 708-720.
- Rousseau, D.D., Derbyshire, E., Antoine, P., Hatte, 2007. Loess records – Europe. in: Elias, S. (Ed.). *Encyclopedia of Quaternary science*, Vol. 4, Elsevier, 1440-1456.
- Sachs, J., Anderson, R., 2005. Increased productivity in the subantarctic ocean during Heinrich events. *Nature* 434, 1118-1121.
- Sanchez-Goni, M.F., Harrison, S.P., 2010. Millennial-scale climate variability and vegetation changes during the Last Glacial: Concepts and terminology. *Quaternary Science Reviews* 29 (21-22), 2823-2827.
- Sedov, S., Sycheva, S., Targulian, V., 2013. Last Interglacial paleosols with Argic horizons in Upper Austria and Central Russia - pedogenetic and palaeoenvironmental inferences from comparison with the Holocene analogues. *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal* 62, 44-58.
- Semmel, A., 1968a. Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. — *Frankf. Geogr. Hefte*, 45, 133.

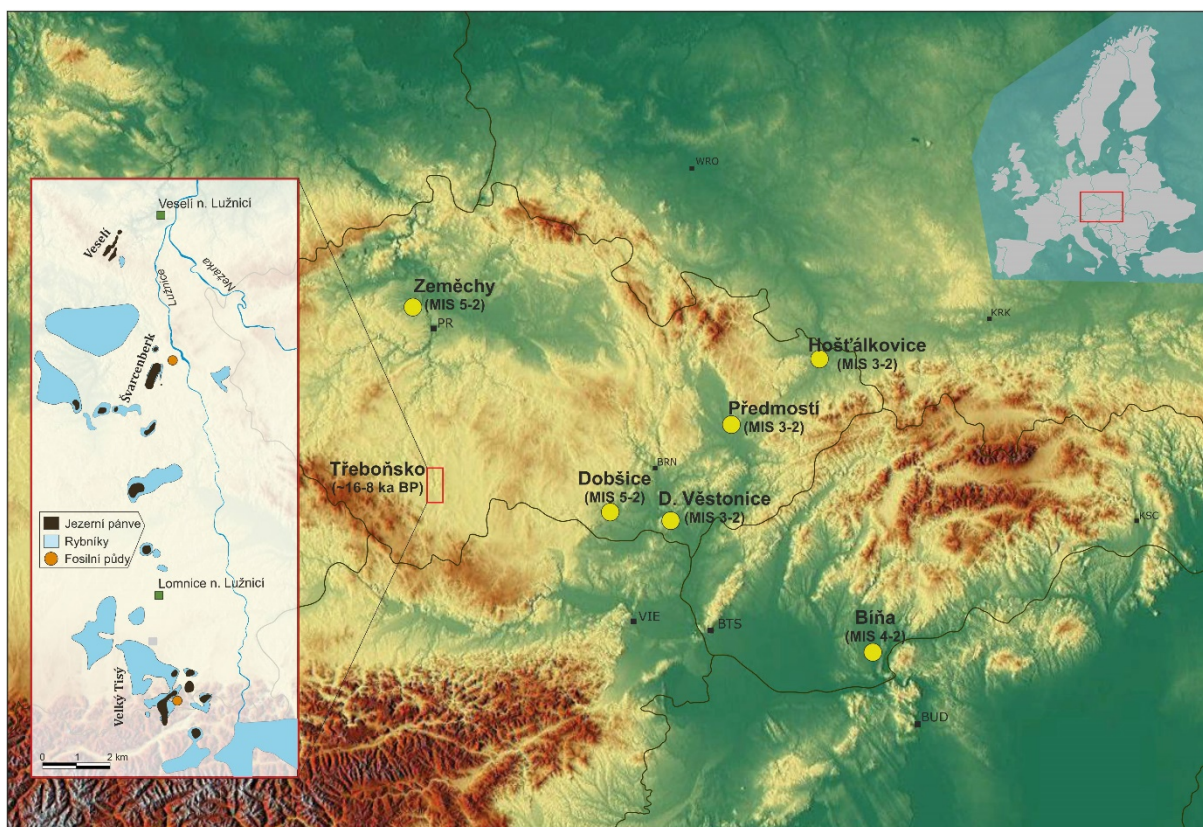
- Semmel, A., 1968b. Die Lössdecke im Dyckerhoff-Steinbruch bei Wiesbaden-Biebrich. — Mainzer Naturw. Arch. 7, 74-79.
- Sirocko, F., Knapp, H., Dreher, F., Förster, M., Albert, J., Brunck, H., Veres, D., Dietrich, S., Zech, M., Hambach, U., Röhner, M., Rudert, S., Schwibus, K., Adams, C., Sigl, P., 2016. The ELSA-Vegetation-Stack: Reconstruction of Landscape Evolution Zones (LEZ) from laminated Eifel maar sediments of the last 60,000 years. *Global and Planetary Change* 142, 108-135.
- Sirocko, F., Seelos, K., Schaber, K., Rein, B., Dreher, F., Diehl, M., Léhne, R., Jäger, K., Krbetschek, M., Degering, D., 2005. A Late Eemian aridity pulse in central Europe during the last glacial inception. *Nature* 436, 833-836.
- Schirmer, W., 2003. Die Eben-Zone im Oberwürmlöss zwischen Maas und Rhein, in: Schirmer, W. (Ed.), *Landschaftsgeschichte im Europäischen Rheinland*. GeoArchaeoRhein 4, Münster, 351-416.
- Schirmer, W. 1999. Dune phases and soils in the European sand belt. In: Schirmer, W. (ed.): *Dunes and fossil soils*. GeoArchaeoRhein 3, 11-42.
- Schirmer, W., 2016. Late Pleistocene loess of the Lower Rhine. *Quaternary International* 411, 44-61.
- Smolíková, L., 1982. Fossil soils in loess series. *Studia Geophysica* 80, 107-133.
- Svoboda, J., Škrdla, P., Ložek, V., Svobodová, H., Frechen, M., 1996. Predmosti II, excavations 1989-1992, in: Svoboda, J. (Ed.). *Paleolithic in the Middle Danube Region (147-171)*, Spisy Archeologického Ústavu AVČR v Brně, Svazek 5, Brno.
- Škrdla, P., 2006. Mladopaleolitické sídelní strategie v krajině: příklad středního Pomoraví. *Přehledy výzkumů* 47, 33-48.
- Újvári, G., Molnár, M., Novothny, Á., Páll-Gergely, B., Kovács, J., Várhegyi, A., 2014. AMS14C and OSL/IRSL dating of the Dunaszekcső loess sequence (Hungary): chronology for 20 to 150 ka and implications for establishing reliable age-depth models for the last 40 ka. *Quat. Sci. Rev.* 106, 140-154.
- Tyráček, J., 1995. Depositonal changes in non-glaciated regions of central Europe. *Quaternary International* 28, 77-81.
- Valoch K. 1976: Die altsteinzeitliche Fundstelle in Brno-Bohunice, Studie AÚ ČSAV IV/1).
- von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Brauer, A., Jouzel, J., Johnsen, S.J., 1999. A mid-European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5000 years BP. *Science* 284 (5420), 1654-1657.
- Urban, B., 1984. Palynology of central European loess-soil sequences, In: Pecs, M. (Ed.). *Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols*. Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 229-247.
- van Geel, B., G. R. Coope, van der Hammen, T. 1989. Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Rev. Palaeobot. Palynol* 60, 25-129.
- Vandenberghe, J., Nugteren, G., 2001. Rapid climatic changes recorded in loess next term successions. *Global and Planetary Change* 28, 1-9.
- van Hoesel, A., Hoek, W. Z., Braadbaart, F., van der Plicht, J., Pennock, G. M., Drury, M. R., 2012. Nanodiamonds and wildfire evidence in the Usselo horizon postdate the Allerød-Younger Dryas boundary. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 7648-7653.
- van Raden, U.J., Colombaroli, D., Gilli, A., Schwander, J., Bernasconi, S.M., van Leeuwen, J.F.N., Leuenberger, M., Eicher, U., 2013. High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland): $\delta^{18}\text{O}$ correlation between a Gerzensee- stack and NGRIP. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*

- Vočadlova K., Petr L., Žáčková P., Křížek M., Křížová L., Hutchinson S.M., Šobr M., 2015. The Late Glacial and Holocene in Central Europe: a multi-proxy environmental record from the Bohemian Forest, Czech Republic. *Boreas* 44, 769-784.
- von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Brauer, A., Jouzel, J., Johnsen, S.J., 1999. A mid- European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5000 years BP. *Science* 284 (5420), 1654-1657.
- Walker, M.J.C., 1995. Climatic changes in Europe during the last glacial/interglacial transition. *Quat. Int.* 28, 63-76.
- Watts, W. A., Allen, J. R. M., Huntley, B., 1996. Vegetation history and palaeoclimate of the Last Glacial period at Lago Grande di Monticchio, Southern Italy, *Quaternary Sci. Rev.* 15, 133-153.
- Woillard, G., 1978. Grande Pile Peat Bog: A Continuous Pollen Record for the Last 140 000 Years. *Quaternary Research* 9, 1-21.
- Woillard, G.M., Mook, W.G., 1982. Carbon-14 dates at Grande Pile: Correlation of land and sea chronologies. *Science*, 215, 159- 161.
- Wright, H.E. Jr., 1961. Pleistocene glaciation in Kurdistan. *Eiszeitalter ind Gegenwart* 12, 131-164.

II. MATERIÁL A METODY

1. Lokality výzkumu

Výsledky práce vycházejí ze sedimentárního záznamu 6 sprašových a 3 jezerních lokalit (viz mapa na obr. 4). Litologické popisy zkoumaných sekvencí a fyzickogeografické charakteristiky oblastí jsou detailně popsány v příslušných kapitolách. Níže jsou proto popsány jen nejzákladnější informace o pilířových lokalitách.



Obr. 4: Mapa s geografickou pozicí zkoumaných lokalit a stratigrafickým rozpětím jednotlivých sedimentárních sekvencí.

Zeměchy u Kralup (obr. 5-1) – Profil se nachází 212 m n.m. ve sprašové rokli, která vznikla erozí bývalé úvozové cesty. Rokle je 150 m dlouhá, 20–35 m široká a až 15 m hluboká. Předkvartérním podložím jsou karbonské arkózy a slepence, částečně překryté fluvialními písčitými šterky Knovízského potoka. Na nich během předposledního glaciálu sedimentovala až 13 m mocná sprašová “duna” (greda). Předmětem výzkumu byly fosilní půdy, svahové sedimenty a spraše poslední klimatický cyklus ležící v nadloží popsaného souvrství.

Dobšice u Znojma (obr. 5-2) – Lokalita leží v oblasti styku Českého masívu s karpatskou předhlubní, na levém břehu Dyje (800 m SZ od současného toku), 230 m n.m. Celková mocnost sprašového pokryvu, ležícího na hlavní (střednopleistocenní) terase Dyje, je zhruba 16 m. Spodních 8 m, včetně 1 m mocné akumulace vátých písků, náleží předposlednímu glaciálu. Nadložní, až 8 m mocné souvrství spraší, fosilních půd a svahových sedimentů reprezentuje svrchní pleistocén.

Bíňa (obr. 4-4-5) – Lokalita se nachází na sz. okraji Panonské pánve, v Pohronské vrchovině na jihozápadním Slovensku, 140 m n. m. V nárazovém břehu Hronu je zde v délce 500

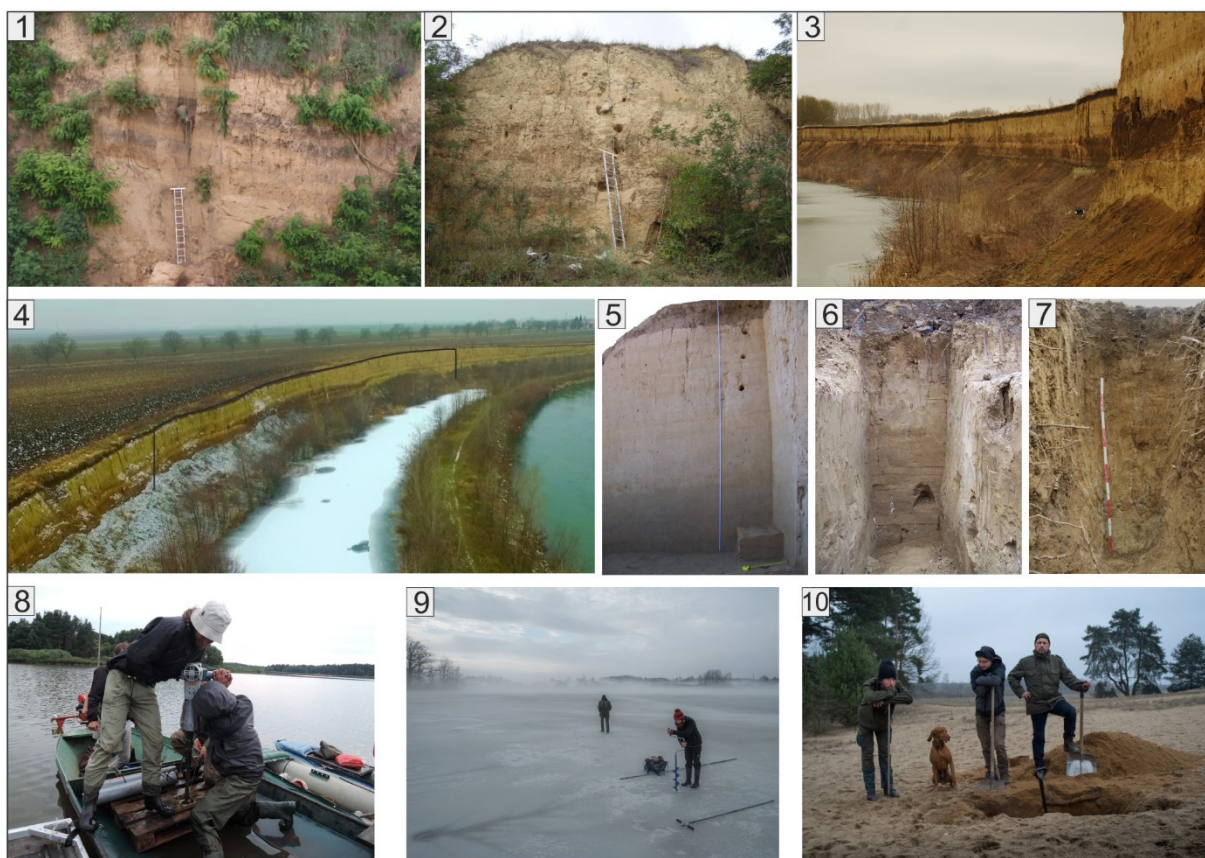
m odkryta komplikovaná až 12 m mocná sekvence spraší, fosilních půd a fluvioakustrin-
ních sedimentů. Studovány byla 3 profily, reprezentující jednotlivé fáze půdního a sedi-
mentárního vývoje lokality.

Dolní Věstonice (obr. 5-5) – 4,5 m vysoký sprašový profil byl začištěn v umělém zářezu
nad dolnověstonickou cihelnou u Pálavy (jižní Morava, 190 m n. m.)– nejzásadnějším gra-
vettienským nalezištěm ve střední Evropě.

Předmostí (obr. 5-6) – Sonda sprašovou sekvencí byla vykopána v blízkosti slavného gra-
vettienského naleziště u Přerova, v oblasti jižního vstupu do Moravské brány (250 m n.
m.)

Hošťálkovice (obr. 5-7) – 1, 5 m mocný kopaný profil se nachází na Ostravsku (severní
Morava, 220 m n. m.), nedaleko severního vyústění Moravské brány.

Třeboňsko (obr. 5-8-10) – Výzkumná oblast zahrnovala severní část Třeboňské pánve,
území ležící zhruba mezi Třeboní a Veselí n. Lužnicí, 400-420 m n. m. Objeveno zde bylo
doposud 23 pánví vyplněných jezerním sedimenty. Pánve jsou 1-12 m hluboké a většina
z nich se nachází pod hladinou současných rybníků. Pod vátými písky Vlkovského přesypu
(obr. 4-10) a na poloostrově rybníka Velký Tisý byly dokumentovány paleopůdní hori-
zonty.



Obr. 5: Lokality výzkumu; 1 – Zeměchy, 2 – Dobšice, 3-4 – Bíňa, 5 – Dolní Věstonice II, 6 – Předmostí, 7 – Hošťálkovice; 8-10 – Třeboňsko

2. Metody

2.1. Terénní metody

Ze sprašových lokalit bylo ze začištěných profilů v intervalu 2-5 cm kontinuálně odebráno 10-50 g bulk sedimentu. Z výrazných horizontů byly odebrány vzorky na mikromorfologickou a malakologickou analýzu, případně na luminiscenční datování.

Odběr jezerního sedimentu byl proveden pomocí pístového vrtáku o průměru 5 cm (obr. 4-8). Vzhledem k tomu, že se většina jezerních lokalit nachází v současnosti pod hladinou rybníků, odběr musel probíhat ze zakrmovacích rybářských lodí (obr. 5-8), případně ze zamrzlé hladiny rybníků (obr. 5-9). Vrtná jádra byla v laboratoři vzorkována v intervalu 1-2,5 cm (instrumentální a palynologické analýzy), resp. v intervalu 5 cm (makrozbytková analýza, pakomáři).

2.2. Laboratorní metody

Jednotlivé metodické postupy jsou zevrubně popsány v příslušných kapitolách příložených článků (včetně interpretačního kontextu, vztahujícího se k jednotlivým zkoumaným faciím). Na tomto místě je tedy představen spíše obecnější charakter opěrných metod se zvláštním ohledem na metody environmentálního magnetismu, které nejsou v běžné paleoenvironmentální praxi příliš časté.

2.2.1 Metody environmentálního magnetismu

Metody tzv. environmentálního magnetismu (EM) se zabývají identifikací magnetických minerálů (především oxidy a hydroxidy železa – magnetit, maghemit / hematit, goethit) a klasifikací jejich zrnitostních frakcí (Thompson a Oldfield, 1986). V autochtonním sedimentu (spraše, půdy) tyto metody tradičně (viz Heller et al., 1991; Sun a Liu, 2000) interpretují magneto-minerální a granulometrické variace jako odraz in situ pedogeneze a postsedimentárních procesů chemického zvětrávání. Magnetický záznam je tak přímo afektován klimatickými podmínkami: během humidnějších období je zvýšená početnost a aktivita půdních bakterií, jejichž metabolická činnost se podílí na přestavbě krystalických struktur minerálů a vzniku extrémně jemnozrnných (supraparamagnetických-SP) minerálních zrn (především magnetit, v menší míře také maghemit; Dearing et al., 1996; Liu et al., 2005). Magneto-mineralogická skladba spraší je řízena řadou dalších environmentálních (zvětrávacích) pochodů, které jsou také přímo vázány na klima – hydrolýza/alkalizace, oxidace/redukce, hydratace/dehydratace, rozpouštění/srážení. Chemická alterace způsobuje transformaci volných iontů železa (zejm. procesy oxidace Fe^{2+} , redukce Fe^{3+} , resp. jejich hydrolýza), což vede ke vzniku specifických magnetických minerálů (nejběžnější hematit a goethit) v závislosti na intenzitě a způsobu zvětrávání. Kvůli výše zmíněným pochodům je v paleopůdních horizontech magnetický signál obecně několikanásobně (3-5x) vyšší než ve spraších (Evans a Heller, 2001).

V jezerních sedimentech, kde podstatnou složku tvoří alochtonní materiál redeponovaný z povodí, lze využít inverzního sylogismu: zvýšené magnetické hodnoty obecně reprezentují chladnější úseky vývoje klimatu. To je způsobeno primárně řidším vegetačním pokryvem, který je příčinou zvýšené erozně-sedimentační dynamiky v povodí a redpozicí půd a zvětralých horizontů do jezerní pánve. Nižší magnetické hodnoty jezerních sedimentů lze pak asociovat s teplejším klimatem a málo intenzivní erozí. Magnetická měření jsou z výše uvedených důvodů velmi vhodným doplňkem pylových analýz (korelace vyšších hodnot s výskytem heliofilní vegetace - Gramineae, Artemisia, Juniperus; srov. Stockhausen a Zolitschka, 1999) a lze jich užít jako indikátoru lidského osídlení v blízkosti jezera (disturbance břehů, narušení půd v povodí atp.; srov. Zolitschka et al, 2003). Takovýto interpretační sylogismus je nicméně komplikován skutečností, že v jezerních sedimentech mohou magnetické minerály vznikat rovněž in situ a to především během teplejších období (bakteriální činností, rozkladnými procesy atd.). Tyto dvě protichůdné možnosti výskytu magnetických minerálů v jezerním záznamu není jednoduché odlišit. Vhodné je proto interpretovat magnetický signál v korelaci s výsledky dalších metod (geochemických, paleontologických).

Níže popsané metodické postupy byly použity k charakteristice magneto-minerální asociace a zrnitostní distribuci těchto minerálů v sedimentu/půdách.

Magnetická susceptibilita (MS) a frekvenčně závislá MS

MS popisuje chování materiálu v indukovaném magnetickém poli se stanovenou nízkou frekvencí (low-field - χ_{LF} , zpravidla 470 Hz). Vyjadřuje schopnost dia- para- a feromagnetických materiálů magnetovat se. Je citlivá na množství a druh magnetického materiálu v sedimentu. Paleoklimatická interpretace signálu MS se odvíjí od předpokladu, že množství v půdách a spraších nejhojněji přítomného magnetického minerálu – magnetitu je pozitivně ovlivněno činností půdních feritických bakterií, jejichž početnost je závislá na teplotě a vlhkosti (např. Heller a Liu, 1984; Maher a Thompson, 1991). Výsledky MS získané analýzou jezerních sedimentů byly použity na interpretaci erozně-sedimentační dynamiky v povodí jezer a ke korelaci záznamu z jednotlivých vrtů (pánví).

Metoda měření MS nicméně poskytuje takřikajíc hrubší nástin pedogenetických změn ve sprašových sledech. Naměřené hodnoty totiž vypovídají pouze o celkovém magnetickém signálu ve vzorcích bez rozlišení alochtonní a autochtonní složky, tzn., že rostou především se zvětšujícím se množstvím magnetických minerálních zrn, a proto je obtížné rekonstruovat klimatické faktory, které jsou příčinou vzniku minerálů in situ (Evans a Heller, 2003).

Pro přesnější zhodnocení je proto používána konfrontace s MS indukovanou vysokou frekvencí (high-field - χ_{HF} , obvykle 4,7 kHz). Frekvenčně závislá MS ($\chi_{fd\%} = 100\% * (\chi_{LF} - \chi_{HF}) / \chi_{LF} * 100$) je indikátorem přítomnosti jemnozrnných magnetických částic (na hranici SP a pseudo-single doménových - PSD) a je používána pro přesnější určení intenzity pedogeneze (Worm a Jackson, 1999). Pro odlišení magnetických minerálů vzniklých in

situ od alochtonního signálu (s dominancí multi doménových-MD zrn) lze použít jednoduchý vztah $\chi_{fd}\%$ (upravená) = χ_{fd}/χ_{LF} .

Izotermální remanence (IRM), saturační remanentní magnetizace (SIRM), S-ratio, Anhysterézní remanentní magnetizace (ARM)

IRM kvantifikuje měřením remanence v postupně se zvyšujícím magnetickém poli množství magnetických minerálů s nízkou koercitivitou (magnetit, maghemit) a minerálů s vysokou koercitivitou (hematit, goethit). Zastoupení jednotlivých minerálů v paleopůdách a spraších je závislé na teplotě, vlhkosti a biologické aktivitě. Sofistikovanými metodami (např. užitím dvousložkového modelu podle Evanse a Hellera, 2001) lze oddělit alochtonní a autochtonní složku magnetických minerálů v sedimentu, a tím vyčlenit z celkového magnetického signálu podíl magnetických zrn vzniklých in situ pedogenezí. Hodnoty remanence při 2,7T byly interpretovány jako SIRM. Zvýšená SIRM indikuje přítomnost magnetitu (maghemitu). S-ratio, indikátor poměru ferimagnetických a anti-feromagnetických minerálů, bylo získáno z poměru remanentní magnetizace indukované v poli 2T a remanentní magnetizace indukované v opačném poli -200 mT.

ARM je parametr citlivý na zrnitostní frakce magnetitu. Zvýšené hodnoty indikují přítomnost jednodoménových magnetických minerálních zrn (SD, 0.02 – 0.06 μm). Tato zrnitostní frakce je vázána na pedogeneticky intenzivněji postižený půdní horizont A. V práci byly hodnoty ARM využity pro získání informace o intenzitě in-situ zvětrávání (spášové série), resp. o intenzitě pedogenních procesů v povodí jezer. Poměr ARM/SIRM lze užít jako relativní granulometr magnetických zrn (podobně jsou používány i poměry SIRM/ χ , IRM/SIRM). Při měření ARM se vzorek demagnetizuje střídavým polem (100 mT) a zároveň magnetizuje stejnosměrným polem (0,05 mT).

Magnetická měření probíhala v paleomagnetické laboratořích FVZ Univerzity Bayreuth, GLÜ AV v Průhonicích a v laboratoři firmy AGICO s.r.o v Brně. Použit byl Kapa-můstek KLY-4, magnetometr JR-6, pulzní magnetizér MPM 10 a demagnetizér LDA-3.

2.2.2 Geochemické analýzy

Během chemického alterace sedimentárních hornin dochází k migraci lépe rozpustných prvků, zatímco dotčený horizont je relativně obohacen o prvky imobilní. Tento sylogismus poskytuje základní interpretační rámec nejen pro analýzu charakteru lesifikace, ale i pro rekonstrukce intenzity zvětrávání ve sprašových serích, jejíž míru lze kvantifikovat vzájemným poměrem jednotlivých komponent příslušné alterační dynamiky. V jezerních sedimentech, poskytujících souvislý záznam mobilní komponenty těchto procesů, lze z podílu imobilních komponent rekonstruovat množství alochtonní složky, která byla do sedimentu transportována koluviálními procesy, a získat tak informace o intenzitě erozně-sedimentačních a zvětrávacích procesů v povodí jezera.

Příkladem lze uvést interpretaci poměru rubidia a stroncia ve sprašových sériích:

Rb je disperzní prvek, který není asociován s žádným konkrétním minerálem. Hojně je však přítomen v minerálech bohatých na draslík: slídy, K-živce a jílové minerály (Wedepohl, 1970). Variace obsahu Rb ve spraších a paleopůdách lze interpretovat jako změnu v minerálním složení horizontů a oscilace v množství přínosu prachových částic (Gallet et al., 1996). V chladnějších úsecích je obecně transportován hrubozrnnější materiál (včetně křemenných zrn) a sedimentační rychlost eolického materiálu je vysoká. Relativní množství Rb bude tedy nižší (počítáno v ppm). Během teplejších fází je eolická aktivita i sedimentační rychlost menší a jsou transportovány jemnozrnné prachovité částice, tvořené především jílovými minerály, na které jsou vázány kationty rubidia. Relativní množství tohoto prvku bude tedy vyšší. Množství Rb ve spraších má však přímou vazbu také na postsedimentární procesy zvětrávání tohoto sedimentu. Během chemického zvětrávání a pedogeneze dochází především k dekalifikaci a mechanické migraci jemnozrnných částic. Chemická alterace však nepostihuje silikátové (jílové) minerály (Rutter et al., 1991; Han et al., 1998). Ty se tak relativně koncentrují v nejzvětralejších částech horizontu. Pro přesnější interpretaci postsedimentárních zvětrávacích procesů je pak možné poměřit množství Rb se stronciem. Sr je prvek preferující minerály bohaté sodíkem a vápníkem, tj. např. kalcit, plagioklasy, amfibolit. Karbonáty, resp. Na- a Ca-aluminosilikáty, jsou ve srovnání s K-minerály mnohem citlivější na zvětrávání a během humidnějších podmínek dochází k jejich rozpouštění, a tedy i relativnímu ochuzení profilu o Sr. Poměr Rb/Sr tak ve sprašových profilech velice citlivě reaguje na klimatem řízené diagenetické procesy (Chen et al., 1999). V podobném smyslu lze použít např. poměru Sr/Ca, jako indikátoru intenzity vyluhování a reprecipitace sekundárních karbonátů, tedy indexu humidity (Bokhorst et al., 2009).

V jezerních sedimentech byl naměřený obsah vybraných prvků ve vzorku (např. Rb, Ti, Ca, Sr, P, Fe) použit jako proxy indikátor intenzity zvětrávání a eroze v povodí jezer, biologické produkci v jezerech, provenience alochtonní složky a antropogenního vlivu v okolí jezer.

Další použitým postupem aplikovaným ve výzkumu spraší bylo vyhodnocení intenzity zvětrávání živců (především plagioklasů) použitím tzv. CIA indexu (Chemical Index of Alteration) (Nesbitt a Young, 1982). Výsledné hodnoty poskytují kvantitativní informace o množství reziduálního Na v živcích. Index je považován za nejpřesnější vyjádření silikátového zvětrávání a slouží k relativně preciznímu určování humidity (Buggle et al., 2009).

Prvková analýza sprašových sérií a jezerních sedimentů byla provedena metodou rentgenfluorescenční a hmotnostní spektrometrie (XRF, ICP-MS) v laboratořích České geologické služby a ÚACH AV ČR, v.v.i v Řeži.

Kationtová výměnná kapacita (KVK, CEC) udává množství iontů, které je sedimentární systém schopený absorbovat, tj. kvantitativní zastoupení expandibilních jílových minerálů. Modifikovaná verze této metody (viz Grygar et al., 2009) byla použita pro zjišťování proporcí smektitu a ilitu ve sprašových sériích a výsledky využity pro rekonstrukci humidity.

Metoda ztráty žháním (Loss On Ignition-*LOI*) byla použita pro zjišťování obsahu organické složky v jezerních sedimentech (viz Heiri et al., 2001). Získaná data mají přímou paleoenvirometální výpovědní hodnotu a přispěly k lepší interpretaci ostatních geochemických a magnetometrických měření. Analýzy probíhaly v laboratoři geobotaniky katedry botaniky PřF UK.

V pleniglaciálním a pozdně glaciálním úseku sedimentární sekvence paleojezera Velký Tisý bylo měřeno zastoupení *stabilních izotopů dusíku* ($\delta^{15}\text{N}$), resp. molární poměr uhlíku a dusíku (C/N). Získaná data byla použita pro 1) vyhodnocení variací v přísunu alochtonní organické složky do jezerní pánve a 2) k rekonstrukci změn hustoty vegetace a intenzity pedogenních procesů v povodí jezera. Analýzy probíhaly v laboratoři stabilních izotopů PřF UK na hmotovém spektrometru Thermo Delta V Advantage.

2.2.3. Laserová granulometrie

Metody laserové granulometrie byly použity za účelem získání informace o faciální variabilitě jílovité, prachové, resp. písčité frakce sedimentu (tj. minerální zrna velikostní kategorie $<5\text{ }\mu\text{m}$, $5\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$ a $>50\text{ }\mu\text{m}$). V případě spraší sloužilo procentuální zastoupení jednotlivých frakcí ve vzorku 1) k rekonstrukci paleoklimatických faktorů: variace v písčité a prachové frakci dává informace o intenzitě větrného proudění (Xiao et al., 1995); variace v jílovité frakci lze užít pro detailní zhodnocení zvětrávacích a pedogenetických pochodů (Martini a Chesworth, 1992; Ding et al., 1998). 2) ke korelacím zkoumaných profilů a 3) ke korelaci záznamu s krátkodobých klimatických výkyvů v terestrickém záznamu a ledovcových vrtech (Vandenberghe et al., 2001; Antoine et. al., 2010).

V jezerních sedimentech byly výsledky granulometrických analýz použity pro interpretaci intenzity erozních procesů v povodí jezer a oscilaci vodní hladiny.

Příprava vzorků pro laserovou granulometrii (tj. rozpouštění organických zbytků a karbonátů loužením v roztoku H_2O_2 , resp. HCl a disperze konglomerátů jílových zrn v roztoku NaPO_3) a samotné měření na laserovém granulometru CILAS 1190 LD probíhalo v paleoenviromentální laboratoři GLÚ AV ČR, v.v.i.

2.2.4 Mikromorfologická analýza

Mikromorfologická analýza spraší a pohřbených půd patří ke klíčovým postupům paleoenviromentální rekonstrukce a stratigrafie kvartéru (Kemp, 1998). Studium prostorového uspořádání půdního plasmatu, rozlišováním forem primárních a sekundárních složek či charakterizací biologické aktivity lze interpretovat celou škálu pedogenních a abiotických procesů (Smolíková, 1990). Mikromorfologická analýza spraší a paleopůd poskytla velmi cenné paleoenviromentální informace zejména ve vztahu k výsledkům dalších instrumentálních analýz.

Popis výbrusů byl založen na klasifikaci FitzPatricka (1984) a Stoopse (2003). Vzorky byly impregnovány a broušeny na velikost geologického výbrusu v laboratoři GLÚ AV ČR, v.v.i.

, resp. v laboratoři České geologické služby.

2.2.5 Datování

Pro přesné stratigrafické zhodnocení výrazných pedo-sedimentárních horizontů sprašových profilů byla zvolena metoda datování pomocí *opticky stimulované luminiscence* (OSL). Ta je založena na principu měření množství elektronů v minerálních zrnech (ve spraši především křemen a živce). To je přímo úměrné době, která uběhla od poslední expozice materiálu slunečním zářením. Získané výsledky jsou podstatně ovlivněny radioaktivitou okolí, proto je nutné změřit též radioaktivní pozadí sedimentu a provést příslušné korekce (Aitken, 1998). Metoda je schopná datovat sedimentaci v rozsahu řádově statisíců let (s limitem okolo 300 ky) s přesností až jednoho tisíce let (nutno však počítat s možností eroze, redepozice či jiného procesu, který vede k resetování záznamu). Metodou OSL byly datovány sprašové série Bíňa, Dolní Věstonice a Hošťálkovice. Měření probíhala v OSL laboratoři Fyzikálního ústavu Slezské university v Gliwicích (Polsko), resp. v Laboratoři mineralogie a petrologie University Gent (Belgie).

V případě jezerních sedimentů a pozdně glaciálních paleopůd byla použita standardní metoda *AMS radiokarbonového datování*. Datovány byly rostlinné makrozbytky, bulk sediment a uhlíky v radiokarbonových laboratořích universit v Poznani (Polsko) a Georgii (USA).

2.2.6 Biologické metody

Paleoenvironmentální a paleoklimatické interpretace se mimo výsledky instrumentální analýzy opíraly i o biotická proxy.

Zvláště významnou roli mezi biologickými metodami hrála *palynologická analýza* (Petr Pokorný), která značně přispěla k posouzení erozně-sedimentačních změn v povodí jezer a stratigrafickému zařazení zkoumaných sekvencí (podrobněji o palynologii např. xxxx). Výsledky analýzy *rostlinných makrozbytků* (Pavla Žáčková) a společenstev *pakomárů* (*Chironomidae*) (Vladimír Kubovčík) posloužily při interpretaci environmentálního vývoje limnického prostředí (trofie, přísun alochtonní minerální komponenty do jezerní pánve atd.) a k posouzení regionálního klimatického vývoje. *Malakologická analýza* (Michal Horsák) sprašové a fluviolakustrinní sekvence na lokalitě Bíňa značně přispěla k pochopení dynamiky regionálních environmentálních a sedimentačních změn.

Literatura:

- Antoine, A., Rousseau, D.-D., Moine, O., Kunesch, S., Hatté, C., Lang, A., 2010. Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch. *Quat. Sci. Rev.*, 28, 2955-2973.
- Aitken, M. J., 1998. *Introduction to Optical Dating*. Oxford, Oxford Univ. Press, 267 pp.
- Bokhorst, M.P., Beets, C.J., Marković, S.B., Gerasimenko, N.P., Matviishina, Z.N., 2009. Pedo-chemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian Ukrainian loess sequences. *Quaternary International* 198, 113-123.

- Bugglea, B., Glasera, B., Hambach, U., Markovič, S., 2009. An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies. *Quat. Inter.* 29, 1-10.
- Ding, Z., Ren, J., Sun, M., 1998. Climatic instability during the penultimate glaciation: evidence from Chinese Loess deposit. *Pagesnews* 6, 3-4.
- Chen, J., Zhisheng, A., Head, J., 1999. Variation of Rb/Sr Ratios in the Loess-Paleosol Sequences of Central China during the Last 130,000 Years and Their Implications for Monsoon Paleoclimatology. Original Research Article. *Quat. Res.* 51/ 3, 215-219.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., Ogrady, K., 1996. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International* 124, 228-240.
- Evans, M. E., Heller, F., 2001. Magnetism of loess/paleosol sequences: recent developments. *Earth-Sci. Rev.* 54, 129-144.
- Evans, M. E., Heller, F., 2003. *Environmental Magnetism-Principles and Applications of Environmental Magnetism*. Amsterdam, Academic Press.
- Fitzpatrick, E., 1984. *Micromorphology of soils*. Chapman and Hall, London, 298 s.
- Gallet, S., Jahn, B.-M., Torri, M., 1996. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications. *Chemical Geology* 133, 67-88.
- Grygar, T., Kadlec, J., Žigová, A., Mihaljevič, M., Nekutová, T., Lojka, R., Světlík, I., 2009. Chemostratigraphic correlation of sediments containing expandable clay minerals based on ion exchange with Cu(II) complex with triethylenetetramine, *Clays and Clay Minerals*. 57, 168-182.
- Han, J., Fyfe, W., Longstaff, F., 1998. Climatic implications of the S5 paleosol complex on the southernmost Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research* 50, 21-33.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25, 101-110.
- Heller, F., Liu, T. S., 1984. Magnetism of Chinese loess deposits. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 77, 125-141.
- Heller, F., Liu, X. M., Liu, T. S., Xu, T. C., 1991. Magnetic-susceptibility of Loess in China. *Earth and Planetary Science Letters* 103, 301-310.
- Kemp, R.A., 1998. Role of micromorphology in paleopedological research. *Quaternary International* 51-52, 133-141.
- Liu, Q. S., Torrent, J., Maher, B. A., Yu, Y. J., Deng, C. L., Zhu, R. X., Zhao, X. X., 2005. Quantifying grain size distribution of pedogenic magnetic particles in Chinese loess and its significance for pedogenesis. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 110.
- Maher, B. A., Thompson, R., 1991. Mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosols. *Geology*, 19, 3-6.
- Martini, I. P., Chesworth, W., 1992. *Weathering, soils and paleosols* edited by, Elsevier, Amsterdam and New York, 618pp.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.
- Rutter, N., Ding, Z., Evans, M. E., Liu, T. S., 1991. Baoji-type pedostratigraphic section, Loess Plateau, north-central China. *Quaternary Science Reviews* 10, 1-22.
- Sartori, M., Evans, M. E., Heller, F., Tsatskin, A., Han, J. M., 2005. The last glacial/interglacial cycle at two sites in the Chinese Loess Plateau: mineral magnetic, grain-size and Be-10 measurements and estimates of palaeoprecipitation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 222, 145-160.

- Smolíková, L., 1982. Fossil soils in loess series. *Studia Geophysica* 80, 107-133.
- Stoops, G., 2003. Guidelines for analyses and descriptions of soil and regolith thin sections, Madison WI: Science Society of America, 365 pp.
- Stockhausen, I., Zolitschka, B., 1999. Environmental changes since 13,000 cal. BP reflected in magnetic and sedimentological properties of sediments from Lake Holzmaar (Germany). *Quatern. Sc. Reviews* 18, 913-925.
- Sun, J.M., Liu, T.S., 2000. Multiple origins and interpretations of the magnetic susceptibility signal in Chinese wind-blown sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 180, 287-296.
- Thompson, R., Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*. London, Allen & Unwin Ltd, 227 pp.
- Wedepohl, K. H., (Ed.), 1970. "Handbook of Geochemistry," Vol. II/2, pp. 37B1-37K3. Springer-Verlag, Berlin.
- Worm, H.-U., And M. J. Jackson, 1999. The superparamagnetism of Yucca Mountain Tuff, *J. Geophys. Res.* 104, 2415-425.
- Zolitschka, B., Behre, K.-E., Schneider, J., 2003. Human and climatic impact on the environment as derived from colluvial, fluvial and lacustrine archives — examples from the Bronze Age to 20 the Migration period, Germany. *Quat. Sci. Rev.* 22, 81-100.

III. VÝSLEDKY A DISKUSE

1. Eem a časný glaciál

Hošek, J., Hambach, U., Lisá, L., Matys Grygar, T., Horáček, I., Meszner, S., Knésl, I. (2015): *An integrated rock-magnetic and geochemical approach to loess/paleosol sequences from Bohemia and Moravia (Czech Republic): implications for the Upper Pleistocene paleoenvironment in central Europe. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 418, 344-358.

- PŘÍLOHA I -

Resumé

Tato kapitola se zabývá sedimentárním a paleopedologickým záznamem dvou sprašových sérií posledního klimatického cyklu (MIS 6-2) – Zeměchy (střední Čechy) a Dobšice (jižní Morava). Tyto lokality reprezentují v současnosti jedny z nejkompletnějších sérií dostupných na našem území. Jejich lokalizace do tranzitní zóny mezi oceanickým a kontinentálním klimatickým režimem navíc umožnila zhodnotit odlišnosti ve vlivu jednotlivých klimatických režimů na paleopůdní a sedimentární záznam.

Nástrojem výzkumu byly především metody environmetální magnetismu a geochemie doplněné o mikromorfologický výzkum a granulometrickou analýzu. Takovýto metodický přístup poskytl relevantní informace pro rekonstrukci intenzity zvětrávacích a erozně-sedimentačních procesech.

Z výsledků magneto-mineralogických analýz je zřejmé, že dominantními magnetickými minerály obou zkoumaných profilů jsou magnetit a maghemit, jejichž zvýšená koncentrace je vázána na paleopůdní horizonty. Tyto minerály vznikaly in-situ a jejich četnost v sedimentu je ovlivněna intenzitou zvětrávacích a pedogenetických procesů (tzv. Čínský model). Magnetitem jsou výrazně nabohaceny především horizonty stepních černozemí pedokomplexů PKIII a PKII; v těchto půdách je výrazně zastoupen i antiiferomagnetický minerál hematit. V interglaciálních lesních půdách, reprezentovaných v záznamu Bt horizonty luvisolů, je nabohacení magnetickými minerály výrazně slabší a dochází k němu spíše ve střední části půdního horizontu. Mimo magnetit a maghemit zde byl identifikován také antiiferomagnetický minerál goethit.

V záznamu korespondujícím s úseky časného glaciálu a pleniglaciálu (MIS 5d-5a, MIS 4-2) koreluje magnetická proxy s indikátory chemického zvětrávání a intenzitou vyluhovacích procesů – index CIA, kationtová výměnná kapacita (CEC) nebo poměr Rb/Sr (korelační koeficient $r = 0.6-0.93$). Tento vztah však nebyl potvrzen pro období interglaciálu Eem (MIS 5e) v důsledku nízkého nabohacení Bt horizontů ferrimagnetickými minerály, příp. jejich rozpouštění během pedogenetických procesů. Takováto zjištění nasvědčují tomu, že magnetický signál střeoevropských sprašových sérií může být ovlivněn mnohem více post-diagenetickými procesy než signál geochemický a proto není zcela vhodným indikátorem paleoklimatických změn posledního klimatického cyklu. Z tohoto po-

hledu se jeví být nejvhodnějším proxy-parametrem poměr Rb/Sr, jehož variace ve studovaných profilech velmi dobře odpovídají klimatickým změnám globálního charakteru.

Výsledky magneto-mineralogických, geochemických a mikromorfologických analýz nasvědčují tomu, že v Dobšicích byla intenzita zvětrávacích procesů během časného glaciálu zřetelně nižší než v Zeměchách, resp. že na jižní Moravě panovaly v tomto období podstatně sušší klimatické podmínky než ve středních Čechách. Popsaný stav pravděpodobně souvisí s reálnými paleoklimatickými odlišnostmi obou sérií, podmíněnými rozdílnou geografickou pozicí lokalit. V této souvislosti je třeba zdůraznit, že lokalita Dobšice je fakticky situována na okraji vlastní Panonské pánve, kde se kontinentalizace klimatu uplatňovala bezpochyby výrazněji než v západněji situovaných regionech. Výsledky tohoto výzkumu tak mj. naznačily, že hranice mezi dvěma klimatickými režimy mohla být během posledního glaciálu překvapivě ostrá.

2. Časný a střední pleniglaciál

Hošek, J., Lisá, L., Hambach, U., Petr, L., Vejrostová, L., Bajer, A., Grygar, T.M., Moška, P., Gottvald, Z., Horsák, M.: Middle Pleniglacial pedogenesis on the north-western edge of the Carpathian Basin: a multidisciplinary investigation of the Bíňa pedo-sedimentary section, SW Slovakia. – submitted in Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.

- PŘÍLOHA II -

Resumé

V této kapitole jsou prezentovány výsledky multidisciplinárního výzkumu sprašové sekvence situované na severním okraji Panonské pánve – do oblasti odkud na rozdíl od centrálnějších regionů nebyla srovnatelná data doposud k dispozici. Předmětem výzkumu byla lokalita Bíňa, nacházející se v Pohronske vrchovině na jihozápadním Slovensku. V nárazovém břehu Hronu je zde v délce 500 m odkryta komplikovaná, až 12 m mocná sekvence spraší, fosilních půd a fluviolakustrinních sedimentů. Pomocí metod environmentálního magnetismu, geochemické a granulometrické analýzy, půdní mikromorfologie a malakozoologie byly zpracovány 3 profily, reprezentující jednotlivé fáze půdního a sedimentárního vývoje lokality.

Ústředním zdrojem informací byl profil odebraný v centrální části odkryvu, kde jsou jednotlivé paleopůdní horizonty nejlépe zachované a diferenciovány. Ve spodním úseku tohoto profilu se nachází vápnitý prach s příměsí písků a hojnými ulitami vodních měkkýšů. Tento sediment byl interpretován jako spraš eolický a koluviálně deponovaná do mělkovodního prostředí paleokoryta Hronu. Dle výsledků OSL datování a malakologických analýz náleží tato fáze sedimentace časnému pleniglaciálu (MIS 4). Výplň paleokoryta je překryta kryogenně postiženou bažinou spraší, na níž se vyvinula sekvence půdních horizontů, datovaných OSL do intervalu ~ 60–50 ka BP (tj. spodní úsek středního pleniglaciálu; MIS 3). Bazální půda této sekvence byla interpretována jako humický horizont černice (Phaeozem). Ta je mrazově provířena a překryta vrstvou svahovin, na níž se vyvinula dvojice tmavě hnědých kambizemí (Bvh), oddělených od sebe polohou koluviálních sedimentů. Jednotlivé půdní horizonty této sekvence byly korelovány s interstadiály Oerel (~ 58-54 ka BP), resp. Glinde (~ 51-48 ka BP) popsány ze sz. Evropy. Mimo centrální část dostupného odkryvu je tato sekvence zachována jako jediný, pravděpodobně polygenetický půdní horizont, který byl v pozdějších fázích redukován erozí. Na tento půdní komplex sedimentovala během středního úseku MIS 3 spraš a hlinopísky, které byly substrátem pro další kambickou půdu. Z té byl dochován světle hnědý ilimerizovaný horizont, ve svrchní části redeponovaný. Vývoj této půdy probíhal dle OSL dat zhruba okolo 35 ka BP, tj. koncem interstadiálu MIS 3 a stratigraficky tak koresponduje s bazální půdou pedokomplexu PK I ze suché sprašové oblasti střední Evropy a mohl by korelovat s interstadiálem Denekamp (~35.5–32.5 ka BP). K hlavní fázi sprašové sedimentace dochází během

pleniglaciálu (MIS 2). Spraš je v některých polohách mírně kryoturbována a ve svrchní části záznamu, v důsledku dočasně příznivějších klimatických podmínek, postižena pedogenetickým procesem (pseudoglejový horizont jehož vývoj je datován do pozdní fáze MIS 2).

Z pohledu pedostratigrafie a paleogeografie Evropy se jedná o lokalitu mimořádného významu, poskytující informace o půdním vývoji období, které v důsledku rozsáhlé eroze ve většině evropských sedimentárních archívů chybí. Vůbec poprvé zde byl jasně doložen klimatický efekt interstadiálů Oerel a Glinde na půdotvorné procesy v kontinentální části Evropy. Vývoj jednotlivých půdních horizontů a jejich diferenciací byla pozitivně ovlivněna specifickými hydrologickými a geomorfologickými podmínkami lokality. Na druhou stranu se paleopůdní záznam celého úseku středního pleniglaciálu (tj. včetně nejsvrchnější kambizemě a pseudogleje) natolik odlišuje od pedostratigrafie známé z centrálnějších částí Panonské pánve, že lze uvažovat i o vlivu regionálních klimatických podmínek (viz současná klimatická specifika perikarpatské oblasti Panonské pánve). Této hypotéze nasvědčuje i neobvyklá pedostratigrafie dalších svrchně pleistocenních sprašových sérií v oblasti (např. Kamenica n. Hronom, Malá n. Hronom nebo Velké Ľudanice), jejichž podrobný výzkum by byl velmi žádoucí.

3. Svrchní pleniglaciál

Lisá, L., Hošek, J., Matys Grygar, T., Bajer, A., Vandenberghe, D. (2014): Geoarchaeology of Upper Palaeolithic loess sites located within a transect through Moravian valleys, Czech Republic. Quaternary International 351, 25-37.

- PŘÍLOHA III -

Resumé

Předmětem výzkumu, prezentovaným v této kapitole, byly tři sprašové profily nacházející se v systému moravských úvalů – Hošťálkovice (Slezsko), Předmostí (střední Morava) a Dolní Věstonice II (jižní Morava). Komplexní instrumentálně-analytické zhodnocení sedimentárního záznamu těchto významných paleolitických lokalit, zahrnující metody environmentálního magnetismu (magnetická susceptibilita a frekvenčně závislá MS), geochemické metody (ICP-MS, TOC, CEC), granulometrii či mikromorfologickou analýzu, poskytl řadu nových poznatků o glaciálním environmentálním vývoji této oblasti. Ty mohou být shrnuty následovně:

Na základě OSL datování poskytují lokality sprašový záznam zahrnující období svrchní části MIS 3 a MIS2 (~ 40-18 ka BP). Na bázi odkryvů v Dolních Věstonicích II (DV_II) a Předmostí byly nalezeny redeponované B horizonty kambizemě, které s největší pravděpodobností stratigraficky odpovídají bazální půdě pedokomplexu PK I. Tyto půdy byly značně ovlivněny soliflukčními procesy svrchního pleistocénu, které zároveň, dle výsledků mikromorfologických analýz, odstranily původní humický A horizont. Na lokalitě Hošťálkovice se horizont interstadiální paleopůdy nezachoval, patrně v důsledku celkově zvýšené intenzity soliflukčních procesů ve vlhčích a chladnějších oblastech Slezska. Během svrchního pleniglaciálu se na studovaných lokalitách vyvinulo několik glejových horizontů a spraš byla postižena intenzivními krypturbačními procesy. Ty jsou mnohem zřetelnější v severněji situovaných Hošťálkovických a Předmostí, zatímco sprašový záznam v DV_II je z tohoto pohledu více homogenní. Pomocí granulometrické analýzy bylo možné korelovat sprašový záznam z lokalit DV_II a Předmostí. Na obou lokalitách bylo vyčleněno několik intervalů s výrazně zvýšeným podílem hrubozrnné složky v sedimentu, které byly interpretovány jako důsledek intenzivnějších eolických procesů (z celkového podílu písčité frakce je zřejmé, že v DV_II byly eolické procesy intenzivnější). Jednotlivé vrstvy hrubozrnného materiálu byly korelovány s Heinrichovými eventy H3–H1. Výsledky magnetických měření a geochemických analýz naznačily, že na všech lokalitách docházelo k postupnému ochlazování a vysušování klimatu. Tento trend je však mnohem patrnější v jižně situovaných DV_II, zatímco směrem na SV slábne.

Výše shrnuté poznatky dokládají heterogenitu půdního a sedimentárního záznamu středního a svrchního pleniglaciálu zkoumané oblasti v severo-j jižním transektu. Zvláště patrné jsou rozdíly ve vlhkostní podmínkách jednotlivých regionů ve svrchně pleniglaci-

ální části záznamu doložené mikromorfologickými a geochemickými analýzami (vlhký sever, suchý jih). Tyto odlišnosti pravděpodobně souvisí s postupem kontinentálního ledovce do jižnějších oblastí, čímž se severnější regiony dostaly více pod vliv vlhčí a chladnější proluviální zóny, zatímco v jižní části zkoumané oblasti přetrvával vliv aridnějších podmínek Panonské pánve. Tyto paleoklimatické okolnosti mohly mít mj. významný vliv na migraci paleolitické populace, která se v období svrchního pleniglaciálu přesouvala z aridních sub-panonských oblastí do severnějších regionů, kde lze v důsledku vlhčího klimatu očekávat příznivější vegetační i lovecké podmínky.

4. Svrchní pleniglaciál/pozdní glaciál

Hošek, J., Pokorný, P., Prach, J., Lisá, L., Matys Grygar, T., Knésl, I., Trubač, J. (2017): *Late Glacial erosion and pedogenesis dynamics: Evidence from high-resolution lacustrine archives and paleosols in south Bohemia (Czech Republic)*. *Catena* 150, 261-278.

- PŘÍLOHA IV -

Resumé

Cílem studie, prezentované v této kapitole, bylo poskytnout detailní informace o dynamice environmentálních změn odehrávající se na konci pleniglaciálu a v průběhu pozdního glaciálu (~ 16–11.7 ka BP) v oblasti Českého masívu. Předmětem výzkumu zde byla sedimentární výplň tří zazemněných jezer a dvě fosilní půdy nacházející se v severní části Třeboňské pánve (~ 400 m n. m.). Obě facie byly analyzovány širokou škálou instrumentálních metod, zahrnující environmentální magnetismus, geochemickou analýzu (včetně analýzy stabilních izotopů dusíku), granulometrii či půdní mikromorfofologii a detailně radiokarbonově datovány. Výsledky instrumentálně-analytických metod centrálního vrtu z jezera Švarcenberk byly navíc konfrontovány s palynologickým záznamem, který byl k dispozici z předchozího výzkumu. Získané paleoenvironmentální a klimatostratigrafické poznatky lze shrnout následovně:

Jezerní pánve vznikly na konci pleniglaciálu (~ 16 ka BP) pravděpodobně v souvislosti s termální degradací permafrostu. Během interstadiálu bølling došlo v oblasti k prudkému oteplení, které se projevilo především zvýšenou biologickou aktivitou v jezerech. Povrch v povodí jezer byl nicméně stále spíše nestabilní, krytý řídkou vegetací, která nebyla schopná bránit erozi. Významnou složkou alochtonního materiálu v jezerních sedimentech tvoří v tomto úseku spraše, koluviálního i eolického původu. Tomu, že zkoumaná oblast mohla být během pleniglaciálu a bøllingu pokryta minerálně bohatým substrátem (spraší) nasvědčuje relativně vysoké zastoupení na živiny náročnější vegetace (např. *Helianthemum*).

Interstadiály bølling a allerød jsou od sebe odděleny výraznou chladnou oscilací, během níž dochází ke zvýšené intenzitě eolického transportu a koluviálních procesů. Tato oscilace, zdokumentovaná ve všech jezerech, byla datována na 13,977±206 cal. yr BP, resp. na 13,741±138 cal. yr BP a korelována se stadiálem starší dryas, který na našem území nebyl doposud v sedimentárním záznamu identifikován.

Interstadiál allerød se vyznačuje relativně humidními podmínkami, během nichž dochází k rozvoji vodní i terestrické vegetace. Hustší vegetační kryt chránil povrch před erozí a umožnil rozvoj půdního krytu. O pedogenní dynamice allerødu podávají mimo proxy záznam z jezerních sedimentů (magnetické parametry, $\delta^{15}\text{N}$) přímé doklady dvě paleopůdy nalezené pod dunami vátých písků v povodí jezera Velký Tisý a Švarcenberk. Jedná se o spodické horizonty podzolů, jejichž vývoj probíhal dle radiokarbonových dat ~

13.4 ka BP, tj. v druhé polovině allerødu. Na základě pedologických charakteristik a pedostratigrafických podobností byly tyto půdy korelovány s tzv. *Usselo soils*, známými doposud pouze ze severní části střední Evropy. Výrazné zvýšení obsahu železa a fosforu, zaznamenaný ve všech jezerech počátkem allerødu, by mohl souviset s humidnějšími podmínkami tohoto interstadiálu, během nichž se tyto prvky stávají mobilnější a jsou vyplavovány z půdních horizontů. Tento proces vede skrze zpětnou vazbu k podzolizaci půd a rozvoji acidofilnější vegetace. Oba zkoumané půdní horizonty mají na svém povrchu zřetelnou vrstvu půdního sedimentu, signalizující erozní událost. Uhlík z této vrstvy byl datován na 13,005–13,305 cal. yr BP. Tomuto datu odpovídá i úsek výrazně zvýšeného přínosu alochtonní složky do všech zkoumaných jezerních pánví. Tato erozní událost byla dána do souvislosti se zhoršením klimatických podmínek a korelována s chladnou oscilací Gerzensee, popsanou doposud především ze sub-atlantické oblasti.

S nástupem mladšího dryasu nastává v povodí jezer výrazný útlumu pedogeneze, rozvolnění vegetačního krytu a s tím související zvýšená dynamika erozně-sedimentačních procesů včetně eolického transportu písku (duny vátých písků v okolí jezer). Výsledky magnetických a izotopických analýz z jezera Velký Tisý naznačují, že druhá polovina tohoto stadiálu byla o něco humidnější a v povodí jezera mohla v omezené míře probíhat pedogeneze.

Multidisciplinární výzkum také vcelku spolehlivě prokázal vztah mezi erozně-sedimentační a vegetační dynamikou: koncentrace Ti v jezerních sedimentech (indikátor množství alochtonní klastické složky) signifikantně koreluje ($r = 0.66$) s počtem pylových zrn peľňku (*Artemisia*), který v pylovém spektru indikuje chladné a suché klima a řídký vegetační kryt. Variace obsahu Ti v sedimentu všech zkoumaných jezer se nápadně shoduje s kyslíkovým izotopickým záznamem grónských ledovců. Na základě korelace těchto dvou proxy-parametrů, podpořené radiokarbonových datováním, byl Ti stanoven jako poměrně robustní klimatostratigrafický nástroj zkoumané oblasti. Další poznatky metodologického charakteru jsou shrnuty v kapitole IV.

Zkoumané lakustrinní sekvence poskytují vůbec nejdetailnější a nejkompletnější sedimentární archív konce pleistocénu pro východní část střední Evropy. Jejich multidisciplinární výzkum doplnil doposud spíše fragmentární informace o environmentálním vývoji této oblasti a umožnil zde vyčlenit jednotlivé klimatické fáze pozdního glaciálu identifikované primárně v sub-atlantické oblasti. Z výsledků je tak zřejmé, že zkoumaná oblast byla v průběhu pozdního glaciálu pod zřetelným vlivem hydroklimatických změn severního Atlantiku

5. Pozdní glaciál/časný holocén

Hošek, J., Pokorný, P., Kubovčík, V., Horáček, I., Žáčková, P., Kadlec, J., Rojik, F., Lisá, L., Bučkuliaková, S. (2014): Late glacial climatic and environmental changes in eastern-central Europe: Correlation of multiple biotic and abiotic proxies from the Lake Švarcenberk, Czech Republic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 396 155-172.

- PŘÍLOHA V -

Resumé

Tato kapitola se soustředí na detailní environmentální rekonstrukci interstadiálu allerød, stadiálu mladší dryas a přechodového období pleistocén/holocén. Prezentovány jsou výsledky multidisciplinárního výzkumu sedimentu zazemněného jezera Švarcenberk, nacházejícího se v severní části Třeboňské pánve, 412 m n. m. Na této lokalitě byly odebrány dva vrty – v centrální a litorální části pánve. Sediment byl radiokarbo- nově datován a vzorky porovnávány co do stavu následujících proměnných: environmentální magnetismus, palynologická analýza a analýza rostlinných makrozbytků, analýza společenstev pakomárů (*Chironomidae*), geochemická analýza, granulometrické a petrografické charakteristiky.

V litorální části jezera tvoří bazální část sedimentace rašelinná poloha, překrytá jezer- ním sedimentem typu gyttja. Tato litologická změna reprezentuje transgresi jezerní hla- diny, ke které došlo dle radiokarbonového datování před zhruba 13,7 ka BP, tedy počát- kem allerødu. Zvýšení vodní hladiny by mohlo souviset s celkově vlhčím prostředím to- hoto interstadiálu, což souběžně dokládají výsledky palynologické analýzy rostlinné mak- rozbytků, mezi nimiž dominují *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* nebo *Po- tamogeton filiformis*. Teplé a vlhké klima dokládají i hojné nálezy pakomárů rodu *Polype- dilum* a *Corynocera*. Trend zvyšujících se hodnot magnetických parametrů souvisí prav- děpodobně s vývojem půd v povodí jezera, které bylo dle pylových indikátorů pokryto relativně souvislou vegetací, v níž ze dřevin dominovala borovice a bříza. V druhé půli allerødu byl v obou vrtech zaznamenána prudká, zhruba 200 let trvající chladná oscilace, během níž dochází v povodí jezera k intenzivním erozním procesům indikovaným nárůs- tem hodnot Rb a pylů třetihorních rostlin (ty se do jezerního záznamu dostaly redepozicí podložních sedimentů miocenního mydlovarského souvrství). Výrazně vyšší hodnoty magnetických parametrů v tomto úseku byly interpretovány jako důsledek půdní eroze. Popsaný chladný výkyv byl datován do období korespondující s oscilací Gerzensee, zná- mou doposud pouze ze sub-atlantické oblasti.

S nástupem mladšího dryasu dochází k rozsáhlým vegetačním přestavbám (v pylovém spektru lze pozorovat zřetelný nárůst heliofylní vegetace, např. pelyněk nebo jalovec) a prudkému navýšení eroze podloží i půdních horizontů (zvýšené koncentrace Rb, miocen- ních pylů a hodnot magnetických parametrů). Zvýšený přísun klastické složky do jezera je indikován také nárůstem na živiny náročných pakomárů druhu *Microtendipes pedellus*.

Korelací výsledků instrumentálně analytických metod s palynologickým záznamem byla v litorální části jezera zjištěna poměrně silná negativní korelace magnetických parametrů s početností řas rodu *Scenedesmus*, jejichž zvýšená přítomnost v sedimentu indikuje vyšší úroveň vodní hladiny. Tento vztah byl interpretován jako důsledek oscilace vodní hladiny – při nízké úrovni vodní hladiny jsou obnaženy břehy jezera a dochází k erozi půdních horizontů a vice versa. Na základě těchto interpretací a výsledků granulometrických analýz byly rekonstruovány hydrologické změny na lokalitě. Z výsledků je zřejmé, že spodní úsek mladšího dryasu byl relativně vlhký, zatímco v jeho druhé části dochází ke zřetelnému vysušování klimatu, které kulminuje na hranici pleistocén-holocén. Takovéto poznatky jsou v dobré shodě s výsledky paleolimnických výzkumů jezer v západní a severozápadní Evropě.

Počátkem holocénu dochází k rychlému vzestupu vodní hladiny, oživení biologické aktivity v jezeře a k postupnému rozvoji zapojené vegetace v jeho okolí. I když byla dynamika erozních procesů citelně utlumena, v sedimentárním úseku časného holocénu bylo zaznamenáno několik horizontů výrazně zvýšených hodnot magnetických parametrů. Tyto události byly korelovány se zvýšenou koncentrací pylu synantropních rostlin (jitrocel, hasivka, kopřiva) a asociovány s činností mezolitiků na břehu jezera, jejichž přítomnost byla doložena dřívějšími archeobotanickými výzkumy.

Porovnání výsledků komplexní paleoenvironmentální analýzy s paleolimnologickým záznamem sub-atlantické a kontinentální části Evropy jasně naznačil, že klimatický a hydrologický vývoj přechodové fáze pleistocén-holocén je na zkoumané lokalitě mnohem podobnější situaci popsané z regionů pod přímým vlivem Atlantiku. S ohledem na geografickou pozici lokality taková zjištění také nepřímou naznačují, že hranice mezi dvěma klimatickými módy mohla být během příslušného období relativně ostrá.

IV. ZÁVĚREČNÁ SHRNUTÍ

Multidisciplinární analýza celkem šesti svrchně pleistocenních sprašových sérií, tří pozdně glaciálních lakustrinních sekvencí a dvou paleopůd poskytla řadu nových poznatků o paleoklimatickém vývoji východní části střední Evropy – území, která je díky své pozici na rozhraní vlivu oceánického a kontinentálního klimatického režimu klíčovou oblastí pro pochopení environmetálního vývoje evropského kontinentu. Závěry vztahující se k vytyčeným tematickým okruhům disertační práce (viz str. 2) lze stručně shrnout takto:

Detailní magneto-mineralogická a geochemická analýza kompletních sprašových sérií posledního cyklu z centrální části Českého masívu (Zeměchy – střední Čechy) a severozápadního okraje panonské oblasti (Dobšice – jižní Morava) (Hošek et al., 2013; 2015) ukázala, že dynamika erozně sedimentačních a zvětrávacích procesů byla v tomto prostoru ovlivněna klimatickými změnami globálního charakteru. Dokazuje to mj. i přímá konfrontace indikátorů zvětrávání zkoumaných sekvencí s marinním izotopickým záznamem. Vzájemná korelace geochemických a magnetických proxy těchto dvou sérií nicméně naznačila, že intenzita pedogenetických procesů (především procesů vyluhování) jednotlivých paleopůdních horizontů posledního glaciálu je v Zeměchách výrazně vyšší než v Dobšicích, patrně v souvislosti s celkově suššími podmínkami během posledního glaciálu v oblasti jižní Moravy ve srovnání se středními Čechami. Této možnosti nasvědčují rovněž výsledky mikromorfologického výzkumu, z nichž jsou patrné výrazně slabé hydromorfní znaky příslušných půdních horizontů. Popsaný stav by tedy mohl souviset s reálnými paleoklimatickými odlišnostmi obou sérií, podmíněnými rozdílnou geografickou pozicí – lokalita Dobšice je fakticky situována na okraji vlastní Panonské pánve, kde se kontinentalizace klimatu uplatňovala bezpochyby výrazněji než v západněji situovaných regionech.

Výraznou facialitu environmentálních procesů lze pozorovat i v samotné Panonské pánvi. Nasvědčují tomu výsledky multidisciplinárního výzkumu na lokalitě Biňa (jz. Slovensko) (Hošek et al., submitted), kde je díky specifickým geomorfologickým podmínkám zachován v rámci kontinentální části Evropy nejkompletnější sled pleniglaciálních paleopůd. Nálezy dobře vyvinutých půdních horizontů datovaných do období mezi 60-50 ka BP naznačují, že minimálně počátkem středního pleniglaciálu (MIS 3) v parikarpatské zóně panovaly podstatně humidnější podmínky, než v jižněji situovaných oblastech panonské pánve (srov. Marković et al., 2015).

Klimatický (vlhkostní) gradient lze sledovat i v severo-j jižním transektu zkoumaném na středně a svrchně pleniglaciálních sprašových profilech v moravských úvalech (Lisá et al., 2014): ve srovnání s Dolními Věstonicemi, ležícími při sz. okraji panonské pánve, byla v severněji situovaných lokalitách (Hošťálkovice, Předmostí) pomocí geochemických a mikromorfologických analýz zdokumentována výrazně intenzivnější erozní dynamika, četnější krypturbační jevy v sedimentu a průkazně vlhčí podmínky. Takováto zjištění s největší pravděpodobností opět souvisí s makroklimatickými parametry jednotlivých oblastí

– severnější regiony byly více pod vlivem vlhčí a chladnější proluviální zóny severní Evropy, zatímco v jižní části zkoumané oblasti převažoval vliv aridnějších podmínek Panonské pánve. V podobném smyslu by bylo možné interpretovat i paleopůdní vývoj sprašové série v Děčíně, tj., na samotné hranici suché sprašové oblasti a výrazně vlhké oblasti saské – všechny zachované paleopůdní horizonty zde jeví, v porovnání kupř. s nedaleko situovanými sériemi Českého středohoří, znaky výrazných glejových procesů (Hošek, nepublikováno).

Výsledky získané výzkumem sprašových sérií tak upozorňují na nezanedbatelný efekt faciality paloenvironmentálních procesů v rámci glaciálních fází nejmladšího kvartéru střední Evropy a naznačují, že geografická proměnlivost těchto procesů je tématem, které zasluhuje zvýšené pozornosti.

Důležitým zdrojem informací o environmentálním vývoji středoevropského prostoru na konci posledního glaciálu byly multidisciplinární výzkumy jezerních sedimentů a paleopůd v Třeboňské pánvi (Hošek et al., 2013; 2014; 2016; 2017). Doposud zde bylo objeveno 23 jezerních pánví, z nichž většina vznikla zhruba ve stejnou dobu – na přelomu pleniglaciálu a pozdního glaciálu (~ 16 ka BP) s největší pravděpodobností v souvislosti s termokrasovými procesy (degradace a eroze permafrostu povrchovou vodou). Díky vysokému rozlišení zkoumaných lakustrinních sekvencí bylo možné porovnávat paleoklimatický vývoj této oblasti s dalšími evropskými regiony. Z transregionální korelace výsledků vyplynulo, že zdokumentované pozdně glaciální klimatické výkyvy se svým průběhem mnohem více podobají situaci popsané v sub-atlantické části Evropy – oblasti, kde byla, na rozdíl od kontinentální části Evropy, opakovaně demonstrována poměrně silná reakce ekosystému na krátkodobé klimatické oscilace identifikované primárně v marinním a ledovcovém záznamu severního Atlantiku (např. Eicher a Siegenthaler, 1976; Goslar et al., 1993; Lowe et al., 1994; Ammann et al., 2000; von Grafenstein et al., 2000; Marshall et al., 2002; Ammann et al., 2013; van Raden et al., 2013).

Ilustrativní příkladem mohou být krátkodobé chladné oscilace starší dryas a Gerzensee (IACP), které se na zkoumaném území projevy jako období výrazně zvýšené dynamiky erozně-sedimentačních procesů. V západní a severozápadní Evropě dochází během těchto úseků k citelnému ochlazení (viz např. zřetelný pokles hodnot $\delta^{18}\text{O}$ na záznamu jezer Ammersee v jz. Německu a Gerzensee ve Švýcarsku; von Grafenstein et al., 2000; van Raden et al., 2013), zvýšenému přísunu alochtonní složky do jezer (např. Nolan et al., 1999) a celkovému poklesu zastoupení dřevinné vegetace v palynologickém záznamu (viz Walker, 1995). Oproti tomu na jezerních lokalitách situovaných do kontinentálnější části Evropy se zmíněné oscilace projevy jen velmi nezřetelně, nebo vůbec (viz Björck et al., 1996; Velichko et al., 2002; Battarbee et al., 2004; Makhnach et al., 2004).

Poněkud rozporuplné závěry však přinesly výsledky rekonstrukce hydrologických změn v období mladšího dryasu – na lokalitě Švarcenberk proxy záznam indikuje, že první polovina tohoto stadiálu byla relativně vlhká a mladší fáze pak výrazně suchá; pozdější výzkumy na jezerech Velký Tisý a Veselí n. L. (Hošek et al., 2016; 2017) však dospěly k závěru přesně

opačnému. Zde je nutné zdůraznit, že oscilace hladiny popsaná na Švarcenberku je shodná s vývojem většiny jezer v oblasti pod vlivem Atlantiku (např. Magny a Rufaldi, 1995; Magny, 2001; Neugebauer et al., 2012), zatímco v případě Velkého Tisého a Veselí odpovídá spíše výsledkům paleolimnologických studií z kontinentálnějších oblastí Evropy (Velichko et al., 2002; Kulesza et al., 2011). Paleohydrologický vývoj pozdního glaciálu, zejména pak období mladšího dryasu, se tak ukazuje být tématem zasluhující zvýšené pozornosti návazného podrobnějšího specializovaného výzkumu.

Tomu, že zkoumaná oblast byla na konci pleistocénu pod výrazným vlivem oceánického klimatického režimu, nasvědčuje i nález dvou fosilních půd, které byly asociovány s *Usselo soils*, popsanými doposud jen ze severní části střední Evropy. Na těchto horizontech byly vůbec poprvé v přímém vztahu zdokumentovány procesy pozdně glaciální pedogeneze, vegetačního vývoje a klimaticky podmíněné půdní eroze. Dílčím výsledkem takovéto přímé konfrontace byl poznatek, že během humidních podmínek allerødu došlo v této oblasti k vyplavování živin z úživného sprašového substrátu vedoucí k nevratné acidifikaci prostředí a podzolizaci půdního pokryvu. Podobný proces je charakteristický pro vývoj ekosystému v pozdní fázi mnoha interglaciálních období (např. Kuneš et al., 2011) – kontinuální ochuzování půd o živiny (především fosfor a dusík), které kulminuje během oligokratické fáze Iversenova cyklu, zde vede k retrogradní sukcesi vegetace, vyznačující se výrazným ochuzením lesních společenstev. V Českém masívu je retrogradní sukcese popsána z pískovcových oblastí, kde je náhlý pokles diversity malakofauny, zaznamenaný okolo 3 ka BP, dáván do souvislosti s člověkem podmíněnou erozí vápnatého substrátu (tzv. lužická katastrofa – Ložek, 1998; 2011). Výsledky získané analýzou jezerních sedimentů a fosilních půd tak naznačují, že popsaný proces mohl v Třeboňské pánvi probíhat o zhruba 10 tisíc let dříve a to plně pod vlivem přirozených environmentálních změn.

Z pohledu kvartérní geologie a paleoekologie se Třeboňská pánev ukázala být mimořádně důležitou oblastí, nabízející řadu výzkumných témat, které mohou přispět k pochopení přírodních pochodů svrchního pleistocénu a holocénu.

Dílčím úkolem této práce bylo prověřit aplikovatelnost instrumentální analýzy spraší, paleopůd a jezerních sedimentů v paleoenvironmentální a paleoklimatické praxi. Tyto poznatky metodologické povahy lze shrnout následovně: i) V důsledku eroze Ah horizontu Eemské luvizemě a postdiagenetickým procesům jsou tyto interglaciální paleopůdy v suché sprašové oblasti střední Evropy ochuzeny o feromagnetické minerály a mají tudíž ve srovnání se stepními černozeměmi časného glaciálu slabší magnetický signál. Z těchto důvodů není magnetický záznam zcela vhodným indikátorem paleoklimatických změn posledního klimatického cyklu v suché sprašové oblasti střední Evropy. Z tohoto pohledu se zdají být mnohem vhodnějším ukazatelem geochemické metody (CIA, CEC, Rb/Sr, Sr/Ca). ii) Obsah Rb a Ti indikuje množství alochtonní složky v jezerních sedimentech. Přímá korelace variací těchto prvků s pylovým záznamem prokázala, že koncentrace Rb a Ti je ovlivněna hustou vegetačním pokryvem v povodí jezer a odpovídá tedy s největší pravděpodobností dynamice erozně-sedimentačním procesům. iii) Obdobnou výpovědní hodnotu

poskytují i magnetické vlastnosti jezerních sedimentů v litorální části – zvýšené hodnoty magnetických parametrů (MS, ARM, SIRM) korespondují s intenzivnější erozí půd během klimaticky nepříznivých období. Variace množství magnetických minerálů v sedimentu do určité míry také koreluje s oscilací vodní hladiny. Tento vztah byl prokázán přímou korelací magnetických proxy s palynologickým záznamem a množstvím řas v jezerních sedimentech. V profundální části jezer je však magnetický záznam sedimentu ovlivněn hlavně intenzitou pedogenetických procesů v povodí a zvýšené hodnoty naměřených parametrů tedy spíše korespondují s klimaticky příznivějšími úseky. Paleoenvironmentální interpretace takového protichůdného magnetického záznamu jezerních sedimentů je možná pouze za spoluúčasti celé řady dalších abiotických a biotických metod. iv) Měření variace $\delta^{15}\text{N}$ v jezerních sedimentech bylo v paleoenvironmentálních studiích aplikováno jen velmi zřídka. Výsledky získané analýzou jezera Velký Tisý nicméně prokázaly, že tento parametr může být využit jako poměrně robustní proxy pro rekonstrukci humidity v oblasti.

Na závěr by bylo dobré připomenout, že multidisciplinární přístup k problematice paleoenvironmentálních rekonstrukcí kvartéru byl do výzkumné praxe zaveden již počátkem 2. poloviny minulého století, a to právě na území, jehož se týkají jednotlivé dílčí výzkumy předkládané práce. Díky systematické vědecké činnosti přírodovědců různých oborů je dnes z tohoto prostoru k dispozici členitá síť opěrných profilů, poskytující bohatý zdroj kontextuálních informací, od nichž se do značné míry odvíjely i interpretační možnosti metodologického aparátu výzkumů prezentovaných v předkládané práci. Využití dnes již mnohdy pozapomenutých poznatků z dřívější fáze výzkumu jako robustní platformy pro integraci aktuálních metodologických postupů se zdá být vhodnou cestou ke komplexnímu pochopení historických kořenů současného stavu středoevropské přírody.

Literatura:

- Ammann, B., Birks, H.J.B., Brooks, S.J., Eicher, U., von Grafenstein, U., Hofmann, W., Lemdahl, G., Schwander, J., Tobolski, K., Wick, L., 2000. Quantification of biotic responses to rapid climatic changes around the Younger Dryas — a synthesis. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 159, 313-347.
- Ammann, B., van Raden, U.J., Schwander, J., Eicher, U., Gilli, A., Bernasconi, S.M., van Leeuwen, J.F.N., Lischke, H., Brooks, S.J., Heiri, O., Nováková, K., van Hardenbroek, M., Colombaroli, D., Nielsen, E., Tinner, W., Wright, H.E., 2013. Responses to rapid warming at Termination 1a at Gerzensee (Central Europe): primary succession, albedo, soils, lake development, and ecological interactions. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*
- Björck, S., Kromer, B., Johnsen, S., Bennike, O., Hammarlund, D., Lemdahl, G., Possnert, G., Rasmussen, T.L., Wohlfarth, B., Hammer, C.U., Spurk, M., 1996. Synchronised terrestrial-atmospheric deglacial records around the North Atlantic. *Science* 274, 1155-1160.
- Iversen, J. 1958. The bearing of glacial and interglacial epochs on the formation and extinction of plant taxa. *Uppsala Universitets Årsskrift* 6, 210-215.
- Eicher, U., Siegenthaler, U., 1976. Palynological and oxygen isotope investigation on Late-Glacial sediment cores from Swiss lakes. *Boreas* 5, 109-117.

- Goslar, T., Kuc, T., Ralska-Jasiewiczowa, M., Rozanski, K., Arnold, M., Bard, E., van Geel, B., Pazdur, M.F., Szeroczynska, K., Wici, B., Wieckowski, K., Walanus, A., 1993. High-resolution lacustrine record of the Late Glacial/Holocene transition in Central Europe. *Quat. Sci. Rev.* 12, 295-305.
- Hošek, J., Hambach, U., Lisá, L., Matys Grygar, T., Horáček, I., Mészner, S., Knésl, I. 2015. An integrated rock-magnetic and geochemical approach to loess/paleosol sequences from Bohemia and Moravia (Czech Republic): implications for the Upper Pleistocene paleoenvironment in central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 418, 344-358.
- Hošek, J., Pokorný, P., Kubovčík, V., Horáček, I., Žáčková, P., Kadlec, J., Rojik, F., Lisá, L., Bučkulíková, S., 2014. Late glacial climatic and environmental changes in eastern-central Europe: Correlation of multiple biotic and abiotic proxies from the Lake Švarcenberk, Czech Republic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 396, 155-172.
- Hošek, J., Pokorný, P., Prach, J., Lisá, L., Matys Grygar, T., Knésl, I., Trubač, J., 2017. Late Glacial erosion and pedogenesis dynamics: Evidence from high-resolution lacustrine archives and paleosols in south Bohemia (Czech Republic). *Catena* 150, 261-278.
- Hošek, J., Hambach, U., Lisá, L., Havlíček, P., Knésl, I., 2013. Dobšice and Zeměchy, Perspective Loess Sites for Paleoenvironmental Research of the Upper Pleistocene. *Geoscience Research Reports* 46, 121-125.
- Hošek, J., Pokorný, P., Šída, P., Prach, J. 2013. Newly Discovered Late Glacial lakes in the Třeboň Region. *Geoscience Research Reports* 46, 126-132.
- Hošek, J., Prach, J., Šída, P., Houfková, P., Vondrák, D., Lisá, L., Pokorný, P., Chvojka, O., Dohnal, J. (2016): Sedimentary development of the Late Glacial lakes near Veselí nad Lužnicí (South Bohemia). *Geoscience Research Reports* 49, 157-164.
- Kuneš P., Odgaard B.V., Gaillard M.J., 2011. Soil phosphorous as a control of productivity and openness in temperate interglacial forest ecosystems. *Journal of Biogeography* 38, 2150-2164.
- Lisá, L., Hošek, J., Matys Grygar, T., Bajer, A., Vandenberghe, D., 2014. Geoarchaeology of Upper Palaeolithic loess sites located within a transect through Moravian valleys, Czech Republic. *Quaternary International* 351, 25-37.
- Lowe, J. J., Ammann, B., Birks, H. H., Björck, S., Coope, G. R., Cwynar, L. C., Beaulieu, J. L. de, Mott, R. J., Peteet, D. M. and Walker, M. J. C., 1994. Climatic changes in areas adjacent to the North Atlantic during the last glacial-interglacial transition (14-9 ka BP). *Journal of Quaternary Science* 9, 185-198.
- Ložek, V. 1998. Late Bronze Age environmental collapse in the sandstone areas of northern Bohemia. In: Hänsel B. (ed.), *Man and Environment in European Bronze Age*, Oetker-Voges Verlag, Kiel., 57-60.
- Ložek, V., 2011. Po stopách pravěkých dějů. O silách, které vytvářely naši krajinu. (Tracing prehistoric developments. Forces that shaped our landscape. In Czech.) Dokořán, Praha.
- Kulesza, P., Suchora, M., Pidek, I.A., Dobrowolski, R., Alexandrowicz, W.P., 2011. Chronology and directions of Late Glacial paleoenvironmental changes: a multi-proxy study on sediments of Lake S1one (SE Poland). *Quat. Int.* 238, 89-106.
- Magny, M., 2001. Palaeohydrological changes as reflected by lake-level fluctuations in the Swiss Plateau, the Jura mountains and the northern French Pre-Alps during the Last Glacial-Holocene transition: a regional synthesis. *Glob. Planet. Chang.* 30, 85-101.
- Magny, M., Rufaldi, P., 1995. Younger Dryas and early Holocene lake-level fluctuations in the Jura mountains, France. *Boreas* 24, 155-172.
- Makhnach, N., Zernitskaya, V., Kolosov, I., Simakova, G., 2004. Stable oxygen and carbon-isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 209, 73-101.

- Marković, S.B., Stevens, T., Kukla, G.J., Hambach, U., Fitzsimmons, K.E., Gibbard, P., Buggle, B., Zech, M., Guo, Z., Hao, Q., Wu, H., O'Hara Dhand, K., Smalley, I.J., Újvari, G., Sümegi, P., Timar-Gabor, A., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, D.A., Jary, Z., Svensson, A., Jovic, V., Lehmkuhl, F., Kovacs, J., Svircev, Z., 2015. Danube loess stratigraphy-towards a pan-European loess stratigraphic model. *Earth-Sci. Rev.* 148, 228-258.
- Marshall, J.D., Jones, R.T., Crowley, S.F., Nash, S., Bedford, A., 2002. A high resolution late glacial isotopic record from Hawes Water NW England: climatic oscillations calibration and comparison of palaeotemperature proxies. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 185 (1-2), 25-40.
- Neugebauer, I., Brauer, A., Dräger, N., Dulski, P., Wulf, S., Plessen, B., Mingram, J., Herzschuh, U., Brande, A., 2012. A Younger Dryas varve chronology from the Rehwiese palaeolake record in NE-Germany. *Quat. Sci. Rev.* 36, 91-102.
- van Raden, U.J., Colombaroli, D., Gilli, A., Schwander, J., Bernasconi, S.M., van Leeuwen, J.F.N., Leuenberger, M., Eicher, U., 2013. High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland): $\delta^{18}\text{O}$ correlation between a Gerzensee stack and NGRIP. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*
- von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Brauer, A., Jouzel, J., Johnsen, S.J., 1999. A mid-European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5000 years BP. *Science* 284 (5420), 1654-1657.
- Velichko, A.A., Catto, N., Drenova, A.N., Klimanov, V.A., Kremenetski, K.V., Nechaev, V.P., 2002. Climate changes in East Europe and Siberia at the late glacial-Holocene transition. *Quat. Int.* 91, 75-99.